

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**  
**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

N°



**DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE**  
**FILIERE : GENIE CIVIL**  
**OPTION : STRUCTURE**

**Mémoire présenté pour l'obtention**  
**Du diplôme de Master Académique**

**Présenté par : Daiffallah Nadjaia**

**Ramdani Fatma Zohra**

**Thème**

**L'influence de la position des voiles de  
contreventement sur la résistance et la stabilité  
des structures de bâtiment**

**Soutenu devant le jury composé de :**

Mr. BOULAOUAD Abderachid	Université de M'sila	Président
Mr. HAMITOCHE Amar	Université de M'sila	Encadreur
Mr. OUZANJA Djamal	Université de M'sila	Examineur

**Année universitaire : 2019 /2020**

## **Remerciement**

*Avant tout propos, nous remercions Allah Tout-Puissant de nous avoir donné la volonté, la force la santé et le courage de mener à bien ce modeste travail, et de nous aider à surmonter toutes les difficultés auxquelles nous avons été confrontés.*

*Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à notre encadreur Mr. HAMITOUCH AMAR qui nous a témoigné de sa sympathie, sa patience, et de son aide scientifique par son expérience et sa compétence, ainsi que pour le temps qu'il a consacré pour nous.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant d'examiner notre mémoire et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Nous remercions également l'ensemble des enseignants du département de génie civil.*

*Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à nos très chers parents qui ont toujours été là pour nous et à tous nos amis et collègues pour le soutien moral et matériel.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

**Merci à tous et à toutes**

## *Dédicace*

*Nous dédions ce modeste travail, comme preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance à :*

*Nos chers parents : Qui n'ont jamais cessé de nous encourager et nous conseiller, Ils nous ont beaucoup aidé tout en long de notre chemin, grâce à leur amour, leur compréhension, leurs sacrifices, leur tendresse, leurs prières et leur patience sans jamais nous quitter des yeux ni baisser les bras et leurs soutien moral et matériel, on ne saurait jamais traduire ce qu'on ressent vraiment envers eux.*

*Nos chers frères et sœurs : Pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral, pour leur indulgence en notre faveur qu'ils touchent ici l'affection la plus intime qu'on ressent à leur égard.*

*Nos amis et collègues : Pour leur compagnie et bons moments passés ensemble.*

*Et tous ceux qui nous sont chers...*

*Merci d'être toujours là pour nous.*

*Que Dieu vous garde.*

*Fatma Zohra et Nadjaia*

---

## **Résumé :**

Les recherches menées sur les endommagements des constructions, causées par les séismes, ont montré que les structures contreventées par voiles présentaient un bon comportement sismique, Cependant la distribution de ces voiles dans la structure est laissée au choix du concepteur, sans directives règlementaires spéciales autre que la simple directive du RPA2003, qui prescrit la recherche de la symétrie des rigidités.

Ce travail, qui visait l'étude de l'influence de la position des voiles de contreventement sur la résistance et la stabilité des structures de bâtiment, a montré qu'un choix adéquat de la position des voiles permet une exploitation maximale de leurs rigidités, donnant ainsi un comportement structurel plus meilleur, ce résultat impose au niveau des concepteurs, la nécessité, de tester, pour chaque projet étudié, différentes dispositions avant de choisir la conception finale, et au niveau du règlement RPA le besoin de l'enrichir par des prescriptions et directives concernant l'emplacement optimal du contreventement.

**Mots clés :** Voile, Contreventement, Séisme, Rigidité, Comportement dynamique, Disposition optimale.

## ملخص :

أظهرت الأبحاث، التي أجريت على أضرار البنايات التي تسببها الزلازل، أن الهياكل المدعمة بالجدران الخرسانية لها سلوك زلزالي جيد، ومع ذلك فإن توزيع هذه الجدران في الهيكل متروك لاختيار المصمم، دون إرشادات تنظيمية خاصة ماعدا التوجيه البسيط للقانون المضاد للزلازل الجزائري RPA2003، الذي يوصي بتحقيق تناظر الصلابة.

العمل المنجز هنا، والذي استهدف دراسة تأثير موضع الجدران الخرسانية الداعمة على قوة واستقرار هياكل المباني، أظهر أن الاختيار المناسب لموضع الجدران يسمح باستغلال أقصى لصلابتها، وبالتالي يعطي سلوكا هيكليا أفضل، هذه النتيجة تفرض على مستوى المصممين، الحاجة إلى اختبار ترتيبات مختلفة، لكل مشروع مدروس، قبل اختيار التصميم النهائي له، وعلى مستوى قانون RPA، الحاجة إلى إثرائه بالإرشادات والتوجيهات المتعلقة بالموقع الأمثل للتدعيم.

**الكلمات المفتاحية:** جدران خرسانية، تدعيم، زلزال، صلابة، سلوك زلزالي، التوزيع الأمثل.

---

**Summary :**

Research carried out on construction damage caused by earthquakes has shown that structures braced by walls have good seismic behavior, however the distribution of these walls in the structure is left to the designer's choice, without special regulatory guidelines other than the simple directive of RPA2003, which prescribes the search for the symmetry of rigidities.

This work, which aimed to study the influence of the position of the bracing walls on the resistance and stability of building structures, showed that an adequate choice of the position of the walls allows maximum use of their rigidities, thus giving a better structural behavior, this result imposes on the level of the designers, the need to test, for each studied project, different arrangements before choosing the final design, and at the level of the RPA regulation the need to enrich it by prescriptions and guidelines for the optimal location of the bracing.

**Keywords:** wall, Bracing, Earthquake, Rigidity, Dynamic behavior, Optimal layout.

---

---

# SOMMAIRE

## Introduction générale

Introduction.....	1
Problématique.....	1
Objectif.....	2
Plan de travail.....	2

## CHAPITRE I : Etude bibliographique

Introduction.....	4
I.1. Présentation des problèmes pathologiques liés à l'absence des voiles.....	5
I.1.1. Rez-de-chaussée souple en béton armé.....	5
I.1.2. Etages intermédiaires flexibles.....	7
I.1.3. Remplissages partiels.....	8
I.1.4. Poteaux courts.....	10
I.1.5. Rotules plastique aux nœuds dans les poteaux.....	11
I.2. Présentation des problèmes pathologiques en présences des voiles.....	13
I.2.1. Distributions asymétriques des voiles.....	13
a. Centre de masse $CM_j$ .....	15
b. Centre de torsion $CT_j$ .....	15
c. Rigidités des voiles $K$ .....	15
I.2.2. Voiles existants rendus inertes par défaut de conception non effective.....	16

## Chapitre II : Présentation du bâtiment étudié, des différents choix d'emplacement des contreventements, et des réponses étudiées

Introduction.....	18
II.1. Description de la structure étudiée.....	18
II.1.1. Les vues en plan et en élévation du projet.....	19
II.2. Choix des dispositions des voiles à étudier.....	19

---

---

II.3. Présentation des réponses étudiées.....	21
---	----

### **Chapitre III : Analyse et présentation des résultats**

Introduction.....	22
III.1. Analyse de la structure.....	22
III.1.1. Considérations générales liées à l'analyse.....	22
a. Logiciel utilisé.....	22
b. Cas de charges prises en considération.....	22
c. Type de calcul effectué.....	23
III.1.2. Considérations générales liées aux charges horizontales.....	23
a. Centre de masse, centre de rigidité et torsion des structures asymétriques sous charges horizontales.....	23
b. Satisfaction des exigences parasismiques du RPA.....	24
III.2. Présentation des résultats.....	25
III.2.1. Résultats d'analyse linéaire.....	25
III.2.2.1. La structure sans voiles de contreventement .....	25
a. La période fondamentale.....	25
b. La masse modale.....	26
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	26
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	26
e. La force sismique à la base.....	27
f. Vérification vis-à-vis $P-\Delta$ .....	27
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	27
III.2.2.2. Etude des variantes.....	28
III.2.2.2.1. Variante 1.....	28
a. La période fondamentale.....	28
b. La masse modale.....	28
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	29
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	29
e. La force sismique à la base.....	29
f. Vérification vis-à-vis $P-\Delta$ .....	29

---

---

g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	30
III.2.2.2.2. Variante 2.....	31
a. La période fondamentale.....	31
b. La masse modale.....	31
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	32
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	32
e. La force sismique à la base.....	32
f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ .....	32
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	33
III.2.2.2.3. Variante 3.....	34
a. La période fondamentale.....	34
b. La masse modale.....	34
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	35
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	35
e. La force sismique à la base.....	35
f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ .....	35
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	36
III.2.2.2.4. Variante 4.....	37
a. La période fondamentale.....	37
b. La masse modale.....	37
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	38
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	38
e. La force sismique à la base.....	38
f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ .....	38
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	39
III.2.2.2.5. Variante 5.....	40
a. La période fondamentale.....	40
b. La masse modale.....	40
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	41
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	41
e. La force sismique à la base.....	41
f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ .....	41

---

g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	42
III.2.2.2.6. Variante 6.....	43
a. La période fondamentale.....	43
b. La masse modale.....	43
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	44
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	44
e. La force sismique à la base.....	44
f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ .....	44
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	45
III.2.2.2.7. Variante 7.....	46
a. La période fondamentale.....	46
b. La masse modale.....	46
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	47
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	47
e. La force sismique à la base.....	47
f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ .....	47
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	48
III.2.2.2.8. Variante 8.....	49
a. La période fondamentale.....	49
b. La masse modale.....	49
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	50
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	50
e. La force sismique à la base.....	50
f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ .....	50
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	51
III.2.2. Résultats d'analyse non linéaire.....	52
III.2.2.1. La structure sans voiles de contreventement.....	52
a. La période fondamentale.....	52
b. La masse modale.....	52
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	52
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	53
e. La force sismique à la base.....	53

---

f. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	53
III.2.2.2. Etude des variantes.....	54
III.2.2.2.1. Variante 1.....	54
a. La période fondamentale.....	54
b. La masse modale.....	54
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	54
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	55
e. La force sismique à la base.....	55
f. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	55
III.2.2.2.2. Variante 2.....	56
a. La période fondamentale.....	56
b. La masse modale.....	56
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	56
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	57
e. La force sismique à la base.....	57
f. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	57
III.2.2.2.3. Variante 3.....	57
a. La période fondamentale.....	58
b. La masse modale.....	58
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	58
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	59
e. La force sismique à la base.....	59
f. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	59
III.2.2.2.4. Variante 4.....	60
a. La période fondamentale.....	60
b. La masse modale.....	60
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	60
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	61
e. La force sismique à la base.....	61
f. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	61
III.2.2.2.5. Variante 5.....	62
a. La période fondamentale.....	62

b.	La masse modale.....	62
c.	Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	62
d.	La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	63
e.	La force sismique à la base.....	63
f.	Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	63
III.2.2.2.6.	Variante 6.....	64
a.	La période fondamentale.....	64
b.	La masse modale.....	64
c.	Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	64
d.	La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	65
e.	La force sismique à la base.....	65
f.	Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	65
III.2.2.2.7.	Variante 7.....	66
a.	La période fondamentale.....	66
b.	La masse modale.....	66
c.	Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	66
d.	La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	67
e.	La force sismique à la base.....	67
f.	Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	67
III.2.2.2.8.	Variante 8.....	68
a.	La période fondamentale.....	68
b.	La masse modale.....	68
c.	Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	68
d.	La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	69
e.	La force sismique à la base.....	69
f.	Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	69

## **Chapitre IV : Discussion et interprétation des résultats**

Introduction.....	70
IV.1. Récapitulation des résultats.....	71
IV.1.1. Résultats d'analyse linéaire.....	71

---

IV.1.1.1. Présentation des résultats en graphs.....	72
a. Période .....	72
b. La masse modale .....	73
c. Déplacement inter-étage max.....	74
d. Déplacement total.....	75
e. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	75
f. La force sismique à la base .....	76
IV.1.2. Résultats d'analyse non linéaire.....	77
IV.1.2.1. Présentation des résultats en graphs.....	78
a. Période .....	78
b. La masse modale .....	79
c. Déplacement inter-étage max.....	80
d. Déplacement total.....	81
e. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	81
f. La force sismique à la base .....	82
IV.2. Apports des voiles de contreventement à la structure du bâtiment étudié.....	83
IV.2.1. Les périodes.....	83
IV.2.2. Les masses modales en %.....	83
IV.2.3. Les masses modales cumulées en %.....	83
IV.2.4. Les déplacements relatifs.....	83
IV.2.5. Les déplacements totaux.....	83
IV.2.6. Répartition des charges horizontales en %.....	83
IV.2.7. Force sismique à la base.....	83
IV.3. Influence de la prise en compte dans l'analyse des efforts et déplacements non linéaires dus l'effet P-Delta.....	84
IV.4. Choix des variantes plus parasismiques.....	84
IV.4.1. Période.....	84
IV.4.2. Les masses modales.....	84
IV.4.3. Les déplacements inter étages.....	85
IV.4.4. Les déplacements totaux.....	85
IV.4.5. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	86
IV.4.6. La force sismique à la base.....	86

---

---

IV.5. Conclusion.....	87
-----------------------	----

### **Conclusions Générales**

Conclusions.....	88
Références bibliographiques.....	90

### **Annexe**

Vue en plan RDC.....	91
Vue en plan EC.....	92
Vue en plan Terrasse.....	93
Façade Principale.....	94
Façade Postérieur.....	95
COUPE A-A.....	96

---

---

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I. 1 :</b> Rez-de-chaussée souple.....	6
<b>Figure I. 2 :</b> Destruction du RDC.....	6
<b>Figure I. 3 :</b> Bâtiment d’habitation de 3 étages, (EL Asnam, Algérie), est endommagé par le séisme de 1980 d’EL Asnam.....	6
<b>Figure I. 4 :</b> Disparition du Rez-de- chaussée (RDC est effondré complètement (étage souple)), Zemmouri ville, Séisme de 2003, Boumerdes, Algérie.....	7
<b>Figure I. 5 :</b> Effondrement 'étage souple' du RDC– Séisme de 2003, Boumerdes, Algérie.....	7
<b>Figure I. 6 :</b> Etage intermédiaire flexible.....	8
<b>Figure I. 7 :</b> Cisaillement des poteaux d’une construction à Bordj el bahri. Séisme de 2003, Boumerdes, Algérie.....	8
<b>Figure I. 8 :</b> Perte d'un étage de la mairie de Kobe (Séisme de Kobe (Japon) en 1995).....	8
<b>Figure I. 9 :</b> Les remplissages partiels dans les cadres.....	9
<b>Figure I. 10 :</b> Des endommagements à cause de remplissage partiel, Séisme de 2003, Boumerdes, Algérie.....	9
<b>Figure I. 11 :</b> Des endommagements à cause de remplissage partiel, (Izmit, Turquie, 1999).....	10
<b>Figure I. 12 :</b> Poteau court.....	10
<b>Figure I. 13 :</b> Destruction par cisaillement du poteau court, poteau endommagée par le séisme de Boumerdes, Algérie.....	11
<b>Figure I. 14 :</b> Dommages dus à l’effet de poteau court en vide sanitaire.....	11
<b>Figure I. 15 :</b> Destruction des poteaux à cause du fonctionnement en "poteaux courts", séisme de 2003 Boumerdes.....	11

---

<b>Figure I. 16</b> : Détail de destruction des poteaux à cause du fonctionnement en "poteaux courts".....	11
<b>Figure I. 17</b> : Rupture de la zone nodale.....	12
<b>Figure I. 18</b> : Formation de rotule plastique, Bordj el bahri. Séisme de 2003, Boumerdes, Algérie.....	12
<b>Figure I. 19</b> : Rotule dans le poteau (Comportement à éviter).....	13
<b>Figure I. 20</b> : Rotule dans la poutre (Comportement recherché).....	13
<b>Figure I. 21</b> : Destruction des bâtiments par torsion du béton armé, Séisme de Gölcük, 17 août 1999 (Turquie).....	13
<b>Figure I. 22</b> : Dommages aux poteaux d'angle dus à la torsion induite par l'excentrement des murs de contreventement du rez-de-chaussée (la disposition asymétrique des voiles), séisme de Tokachi-Oki, Japon, 16.5.1968.....	14
<b>Figure I. 23</b> : Bâtiment asymétrique.....	14
<b>Figure I. 24</b> : Immeuble (R+4) ,140 logements à Dellys (Séisme de Boumerdes 2003), Algérie.....	16
<b>Figure I. 25</b> : Cage d'escalier en voiles séparée par des joints du reste de la structure.....	17
<b>Figure I. 26</b> : Cage d'escalier utilisée comme contreventement de la structure.....	17
<b>Figure II. 1</b> : Vue en plan, RDC.....	19
<b>Figure II. 2</b> : Vue en plan, Etage courant.....	19
<b>Figure II. 3</b> : Vue en élévation.....	19
<b>Figure II. 4</b> : Vue en plan de la variante 1.....	20
<b>Figure II. 5</b> : Vue en plan de la variante 2.....	20
<b>Figure II. 6</b> : Vue en plan de la variante 3.....	20
<b>Figure II. 7</b> : Vue en plan de la variante 4.....	20
<b>Figure II. 8</b> : Vue en plan de la variante 5.....	21

---

<b>Figure II. 9</b> : Vue en plan de la variante 6.....	21
<b>Figure II. 10</b> : Vue en plan de la variante 7.....	21
<b>Figure II. 11</b> : Vue en plan de la variante 8.....	21
<b>Figure IV.1</b> : Graphique des résultats de la période.....	72
<b>Figure IV.2</b> : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 1.....	73
<b>Figure IV.3</b> : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 2.....	73
<b>Figure IV.4</b> : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 3.....	74
<b>Figure IV.5</b> : Graphique des résultats de déplacement inter-étages.....	74
<b>Figure IV.6</b> : Graphique des résultats de déplacement total.....	75
<b>Figure IV.7</b> : Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens X-X.....	75
<b>Figure IV.8</b> : Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens Y-Y.....	76
<b>Figure IV.9</b> : Graphique des résultats de la force sismique à la base.....	76
<b>Figure IV.10</b> : Graphique des résultats de la période.....	78
<b>Figure IV.11</b> : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 1.....	79
<b>Figure IV.12</b> : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 2.....	79
<b>Figure IV.13</b> : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 3.....	80
<b>Figure IV.14</b> : Graphique des résultats de déplacement inter-étages.....	80
<b>Figure IV.15</b> : Graphique des résultats de déplacement total.....	81
<b>Figure IV.16</b> : Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens X-X.....	81
<b>Figure IV.17</b> : Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens Y-Y.....	82
<b>Figure IV.18</b> : Graphique des résultats de la force sismique à la base.....	82

---

---

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau II.1</b> : Les caractéristiques géométriques de la structure.....	18
<b>Tableau III.1</b> : La période fondamentale de la structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire).....	25
<b>Tableau III.2</b> : La masse modale de la structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire) .....	26
<b>Tableau III.3</b> : Le déplacement des étages, structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire) .....	26
<b>Tableau III.4</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire) .....	26
<b>Tableau III.5</b> : Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ , structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire) .....	27
<b>Tableau III.6</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres, structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire) .....	27
<b>Tableau III.7</b> : La période fondamentale V1 (Analyse linéaire) .....	28
<b>Tableau III.8</b> : La masse modale V1 (Analyse linéaire) .....	28
<b>Tableau III.9</b> : Le déplacement des étages V1 (Analyse linéaire) .....	29
<b>Tableau III.10</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V1 (Analyse linéaire) .....	29
<b>Tableau III.11</b> : Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ V1 (Analyse linéaire) .....	30
<b>Tableau III.12</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V1 (Analyse linéaire) .....	30
<b>Tableau III.13</b> : La période fondamentale V2 (Analyse linéaire) .....	31
<b>Tableau III.14</b> : La masse modale V2 (Analyse linéaire) .....	31
<b>Tableau III.15</b> : Le déplacement des étages V2 (Analyse linéaire) .....	32

---

<b>Tableau III.16</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V2 (Analyse linéaire) .....	32
<b>Tableau III.17</b> : Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ V2 (Analyse linéaire) .....	33
<b>Tableau III.18</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V2 (Analyse linéaire) .....	33
<b>Tableau III.19</b> : La période fondamentale V3 (Analyse linéaire) .....	34
<b>Tableau III.20</b> : La masse modale V3 (Analyse linéaire) .....	34
<b>Tableau III.21</b> : Le déplacement des étages V3 (Analyse linéaire) .....	35
<b>Tableau III.22</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V3 (Analyse linéaire) .....	35
<b>Tableau III.23</b> : Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ V3 (Analyse linéaire).....	36
<b>Tableau III.24</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V3 (Analyse linéaire) .....	36
<b>Tableau III.25</b> : La période fondamentale V4 (Analyse linéaire).....	37
<b>Tableau III.26</b> : La masse modale V4 (Analyse linéaire).....	37
<b>Tableau III.27</b> : Le déplacement des étages V4 (Analyse linéaire).....	38
<b>Tableau III.28</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V4 (Analyse linéaire) .....	38
<b>Tableau III.29</b> : Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ V4 (Analyse linéaire).....	39
<b>Tableau III.30</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V4 (Analyse linéaire) .....	39
<b>Tableau III.31</b> : La période fondamentale V5 (Analyse linéaire).....	40
<b>Tableau III.32</b> : La masse modale V5 (Analyse linéaire).....	40
<b>Tableau III.33</b> : Le déplacement des étages V5 (Analyse linéaire).....	41

---

---

<b>Tableau III.34</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V5 (Analyse linéaire) .....	41
<b>Tableau III.35</b> : Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ V5 (Analyse linéaire).....	42
<b>Tableau III.36</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V5 (Analyse linéaire) .....	42
<b>Tableau III.37</b> : La période fondamentale V6 (Analyse linéaire).....	43
<b>Tableau III.38</b> : La masse modale V6 (Analyse linéaire).....	43
<b>Tableau III.39</b> : Le déplacement des étages V6 (Analyse linéaire).....	44
<b>Tableau III.40</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V6 (Analyse linéaire) .....	44
<b>Tableau III.41</b> : Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ V6 (Analyse linéaire).....	45
<b>Tableau III.42</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V6 (Analyse linéaire) .....	45
<b>Tableau III.43</b> : La période fondamentale V7 (Analyse linéaire).....	46
<b>Tableau III.44</b> : La masse modale V7 (Analyse linéaire).....	46
<b>Tableau III.45</b> : Le déplacement des étages V7 (Analyse linéaire).....	47
<b>Tableau III.46</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V7 (Analyse linéaire) .....	47
<b>Tableau III.47</b> : Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ V7 (Analyse linéaire).....	48
<b>Tableau III.48</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V7 (Analyse linéaire) .....	48
<b>Tableau III.49</b> : La période fondamentale V8 (Analyse linéaire).....	49
<b>Tableau III.50</b> : La masse modale V8 (Analyse linéaire).....	49
<b>Tableau III.51</b> : Le déplacement des étages V8 (Analyse linéaire).....	50

---

<b>Tableau III.52</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V8 (Analyse linéaire) .....	50
<b>Tableau III.53</b> : Vérification vis-à-vis P- $\Delta$ V8 (Analyse linéaire).....	51
<b>Tableau III.54</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V8 (Analyse linéaire) .....	51
<b>Tableau III.55</b> : La période fondamentale de la structure sans voiles de contreventement (Analyse non-linéaire) .....	52
<b>Tableau III.56</b> : La masse modale de la structure sans voiles de contreventement (Analyse non-linéaire) .....	52
<b>Tableau III.57</b> : Le déplacement des étages, structure sans voiles de contreventement (Analyse non-linéaire) .....	52
<b>Tableau III.58</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, structure sans voiles de contreventement (Analyse non-linéaire).....	53
<b>Tableau III.59</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres, structure sans voiles de contreventement (Analyse non-linéaire).....	53
<b>Tableau III.60</b> : La période fondamentale V1 (Analyse non-linéaire).....	54
<b>Tableau III.61</b> : La masse modale V1 (Analyse non-linéaire).....	54
<b>Tableau III.62</b> : Le déplacement des étages V1 (Analyse non-linéaire).....	54
<b>Tableau III.63</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V1 (Analyse non-linéaire) .....	55
<b>Tableau III.64</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V1 (Analyse non-linéaire) .....	55
<b>Tableau III.65</b> : La période fondamentale V2 (Analyse non-linéaire).....	56
<b>Tableau III.66</b> : La masse modale V2 (Analyse non-linéaire).....	56
<b>Tableau III.67</b> : Le déplacement des étages V2 (Analyse non-linéaire).....	56

---

<b>Tableau III.68</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V2 (Analyse non-linéaire) .....	57
<b>Tableau III.69</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V2 (Analyse non-linéaire) .....	57
<b>Tableau III.70</b> : La période fondamentale V3 (Analyse non-linéaire).....	58
<b>Tableau III.71</b> : La masse modale V3 (Analyse non-linéaire).....	58
<b>Tableau III.72</b> : Le déplacement des étages V3 (Analyse non-linéaire).....	58
<b>Tableau III.73</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V3 (Analyse non-linéaire) .....	59
<b>Tableau III.74</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V3 (Analyse non-linéaire) .....	59
<b>Tableau III.75</b> : La période fondamentale V4 (Analyse non-linéaire).....	60
<b>Tableau III.76</b> : La masse modale V4 (Analyse non-linéaire).....	60
<b>Tableau III.77</b> : Le déplacement des étages V4 (Analyse non-linéaire).....	60
<b>Tableau III.78</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V4 (Analyse non-linéaire) .....	61
<b>Tableau III.79</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V4 (Analyse non-linéaire) .....	61
<b>Tableau III.80</b> : La période fondamentale V5 (Analyse non-linéaire).....	62
<b>Tableau III.81</b> : La masse modale V5 (Analyse non-linéaire).....	62
<b>Tableau III.82</b> : Le déplacement des étages V5 (Analyse non-linéaire).....	62
<b>Tableau III.83</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V5 (Analyse non-linéaire) .....	63
<b>Tableau III.84</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V5 (Analyse non-linéaire) .....	63
<b>Tableau III.85</b> : La période fondamentale V6 (Analyse non-linéaire).....	64

---

---

<b>Tableau III.86</b> : La masse modale V6 (Analyse non-linéaire).....	64
<b>Tableau III.87</b> : Le déplacement des étages V6 (Analyse non-linéaire).....	64
<b>Tableau III.88</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V6 (Analyse non-linéaire) .....	65
<b>Tableau III.89</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V6 (Analyse non-linéaire) .....	65
<b>Tableau III.90</b> : La période fondamentale V7 (Analyse non-linéaire).....	66
<b>Tableau III.91</b> : La masse modale V7 (Analyse non-linéaire).....	66
<b>Tableau III.92</b> : Le déplacement des étages V7 (Analyse non-linéaire).....	66
<b>Tableau III.93</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V7 (Analyse non-linéaire) .....	67
<b>Tableau III.94</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V7 (Analyse non-linéaire) .....	67
<b>Tableau III.95</b> : La période fondamentale V8 (Analyse non-linéaire).....	68
<b>Tableau III.96</b> : La masse modale V8 (Analyse non-linéaire).....	68
<b>Tableau III.97</b> : Le déplacement des étages V8 (Analyse non-linéaire).....	68
<b>Tableau III.98</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V8 (Analyse non-linéaire) .....	69
<b>Tableau III.99</b> : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V8 (Analyse non-linéaire) .....	69
<b>Tableau IV.1</b> : Tableau récapitulatif des résultats de calcul des variantes (sans l'effet P-delta).....	71
<b>Tableau IV.2</b> : Tableau récapitulatif des résultats de calcul des variantes (avec l'effet P-delta).....	77
<b>Tableau IV.3</b> : Les périodes fondamentales.....	84

---

<b>Tableau IV.4</b> : Les masses modales.....	84
<b>Tableau IV.5</b> : Les déplacements inter-étages.....	85
<b>Tableau IV.6</b> : Les déplacements totaux.....	85
<b>Tableau IV.7</b> : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux .....	86
<b>Tableau IV.8</b> : La force sismique à la base.....	86

---

## LISTE DES SYMBOLES

**A** : Coefficient d'accélération de zone.

**C<sub>T</sub>** : Coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage.

**CM<sub>i</sub>** : Centre de masse.

**CR<sub>i</sub>** : Centre de cisaillement.

**CT<sub>i</sub>** : Centre de torsion.

**D** : Facteur d'amplification dynamique moyen.

**E** : module de Young.

**F** : La force unitaire  $F=1$ .

**h<sub>N</sub>** : Hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure.

**h<sub>k</sub>** : La hauteur d'étage « k ».

**I** : Moment d'inertie.

**K** : Rigidités des voiles.

**K<sub>xi</sub>** : Rigidité du bâtiment selon le sens x-x.

**K<sub>yi</sub>** : Rigidité du bâtiment selon le sens y-y.

**L<sub>x</sub>** : Longueur totale de la structure.

**L<sub>y</sub>** : Largueur totale de la structure.

**m<sub>i</sub>** : La masse sismique de l'étage.

**P<sub>k</sub>** : Poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau «k».

**Q** : Facteur de qualité de la structure.

**R** : Coefficient de comportement global de la structure.

**T<sub>2</sub>** : Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.

---

**V** : Effort tranchant.

**V<sub>k</sub>** : Effort tranchant d'étage au niveau « k ».

**V<sub>x</sub>** : La force sismique à la base selon X.

**V<sub>y</sub>** : La force sismique à la base selon Y.

**W** : Poids total de la structure.

**W<sub>G</sub>** : Poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure.

**W<sub>G</sub>** : Charges d'exploitation.

**x<sub>Gi</sub> ; y<sub>Gi</sub>** : Les coordonnées de la position du centre de gravité CM<sub>i</sub> de l'étage.

**x<sub>Ti</sub> ; y<sub>Ti</sub>** : Les coordonnées de la position du centre de torsion CT<sub>i</sub> de l'étage.

**β** : Coefficient de pondération.

**η** : Facteur de correction d'amortissement.

**Δ<sub>k</sub>** : Déplacement relatif du niveau « k » par rapport au niveau « k-1 ».

**Δ<sub>x</sub>** : Le déplacement selon le sens x-x.

**Δ<sub>y</sub>** : Le déplacement selon le sens y-y.

**EC** : Etage courant.

**RDC** : Rez-de-chaussée.

**RPA99V2003** : Règles parasismiques algériennes 1999 version 2003.



**INTRODUCTION  
GÉNÉRALE**

## **Introduction :**

L'Algérie a été soumise à des actions sismiques violentes qui ont fait de nombreuses victimes et beaucoup de dégâts avec des destructions massives qui ont touchés plusieurs régions du pays et ont considérablement affecté l'économie du pays [4], parmi les plus notables, on peut citer [2] :

- Séisme El-Asnam (Chlef) 1980, avec une magnitude 7.3 ; Des milliers de pertes en vies humaines (2 633 morts) ont été enregistrées, et 70% des habitations sont détruites
- Séisme de Boumerdès 2003 avec une magnitude 6.8 ; il a touché plus que 100000 habitations et a causé un grand nombre de victimes (2300 morts).

Dans le contexte sismique, les meilleurs projets en termes de sécurité sont obtenus en respectant les principes de conception, la sécurité est en général mieux assurée dans une structure bien conçue [11].

Cependant, lors du séisme de Boumerdès (2003), des ouvrages construits suivant les normes en vigueur (RPA 99) ont subi des dégâts considérables, ce qui est révélateur sur la présence de défaillances et d'insuffisances dans le règlement algérien [4].

Ce constat a amené les experts à étudier les causes de ces dommages, et les structures qui ont montré un bon comportement durant le séisme. Ces études, qui ont montré la bonne tenue des constructions munies de voiles lors du séisme de Boumerdès [12] [14], ont préconisé le contreventement des structures en voiles en béton armé en zone sismique.

En effet, ces structures ont eu un excellent comportement, qui est dû à la présence de voiles en béton armé, car outre leur rôle porteur vis à vis des charges verticales, leur grande rigidité permet de limiter les déplacements latéraux et ainsi assurer la résistance aux forces horizontales [14].

## **Problématique :**

La disposition des voiles de contreventement dans les bâtiments est essentielle pour avoir une conception adéquate, le choix de la disposition optimale des voiles est un choix crucial dans le comportement et la performance sismique des structures.

Une bonne disposition des voiles permet d'avoir une exploitation optimale de la rigidité de la structure. Cependant, il n'existe aucun article dans les règlements parasismique algérien (RPA99 vs2003) relatif à ce paramètre. Ce qui pousse les concepteurs à essayer de disposer les voiles sur la périphérie du bâtiment d'une manière systématique, or ce choix peut être discutable au vu de la diversité des bâtiments.

## **Objectif :**


Ce travail consiste à étudier l'effet de la position des contreventements sur certains facteurs liés au comportement dynamique sous sollicitation sismique tels que les périodes propres, le centre de torsion ou de rigidité, effet P delta, la répartition des efforts entre voiles et portiques, etc. et ce pour une exploitation optimale de la rigidité de ces voiles en faveur de la résistance et la stabilité du bâtiment.

Cela est conduit en analysant le bâtiment sans voiles, et avec des voiles de contreventement mais disposés selon plusieurs choix dans leur emplacement, afin d'évaluer l'apport de chaque disposition par rapport à la structure en portiques seules. Une comparaison entre toutes les variante est ensuite menée pour déterminer la disposition optimale.

## **Plan de travail :**

Nous avons structuré notre travail comme suit :

- Le **chapitre 1** : consiste en une présentation des différents problèmes pathologiques affectant le bâtiment durant le séisme, lié à l'absence des voiles de contreventement, ainsi qu'en leur présence.
- Le **chapitre 2** : Présente le bâtiment étudié, et les différents choix d'emplacement des voiles de contreventement, ainsi que les réponses étudiées.
- Le **chapitre 3** : Concerne l'analyse et la présentation des résultats pour les différentes variantes en utilisant le logiciel Robot 2010.
- Le **chapitre 4** : récapitule les résultats de l'analyse obtenus par des tableaux et des graphs afin de faciliter leur lecture, et discute et interprète l'ensemble des résultats
- Pour finir, des conclusions générales de l'étude sont récapitulés.



**CHAPITRE I**  
**ETUDE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

## Introduction :

Suite aux tremblements de terre qui ont frappé plusieurs régions du monde et notamment ceux qui ont touché notre pays (El Asnam (Chlef) 1980 ; Boumerdés 2003), des conclusions ont été tirées suite aux expertises qui ont été établies : Les constructions contreventées par voiles se sont bien comportées vis-à-vis de l'action sismique [14].

La présence efficace des voiles de contreventement dans ces constructions a offert par leur rigidité une résistance supplémentaire aux efforts horizontaux de l'action sismique en évitant ainsi les désastres constatés dans les constructions en portiques seules.

Par rapport à d'autres systèmes constructifs tels que les portiques auto stables, les structures en voiles en béton armé ou contreventées par des voiles présentent, particulièrement en zone sismique, plusieurs avantages [1] :

- ❖ Leur rigidité permet de réduire la part de l'effort horizontal pris par les autres éléments structuraux (les poteaux) et de protéger les éléments non-structuraux
- ❖ Leur présence permet de s'affranchir de la difficulté posée par la réalisation des nœuds des portiques.
- ❖ Elles permettent de ne pas être pénalisé dans le choix du coefficient de comportement en cas de panneaux de remplissage.

Dans le RPA99 vs 2003 [13], on retrouve pour les systèmes de contreventement la classification suivante :

- **Système de contreventement constitué par des voiles porteurs en béton armé**  
Le système est constitué de voiles uniquement ou de voiles et de portiques. Dans ce dernier cas les voiles reprennent plus de 20% des sollicitations dues aux charges verticales. On considère que la sollicitation horizontale est reprise uniquement par les voiles.
- **Structure à ossature en béton armé contreventée entièrement par noyau en BA**  
Le bâtiment est dans ce cas-là contreventé entièrement par un noyau rigide en béton armé qui reprend la totalité de l'effort horizontal.

- **Système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portiques -voiles**

Les voiles de contreventement doivent reprendre au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales. Les charges horizontales sont reprises conjointement par les voiles et les portiques proportionnellement à leurs rigidités relatives ainsi que les sollicitations résultant de leurs interactions à tous les niveaux ; Les portiques doivent reprendre, outre les sollicitations dues aux charges verticales, au moins 25% de l'effort tranchant d'étage.

- **Système de contreventement de structures en portiques par des voiles en BA**

Dans ce cas les voiles reprennent au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales et la totalité des sollicitations dues aux charges horizontales. On considère que les portiques ne reprennent que les charges verticales. Toutefois, en zone sismique III, il y a lieu de vérifier les portiques sous un effort horizontal représentant 25% de l'effort horizontal global Avec ce système de contreventement les bâtiments sont limités en hauteur à 10 niveaux ou 33 m au maximum.

## **I.1. Présentation des problèmes pathologiques liés à l'absence des voiles :**

Les cas pathologiques les plus courants sont :

### **I.1.1. Rez-de-chaussée souple en béton armé :**

Durant la secousse sismique d'un bâtiment, le mouvement de sol recherche les points faibles dans la structure. Ces faiblesses sont habituellement créées par les changements pointus de la rigidité, de la résistance et/ou de la ductilité [8].

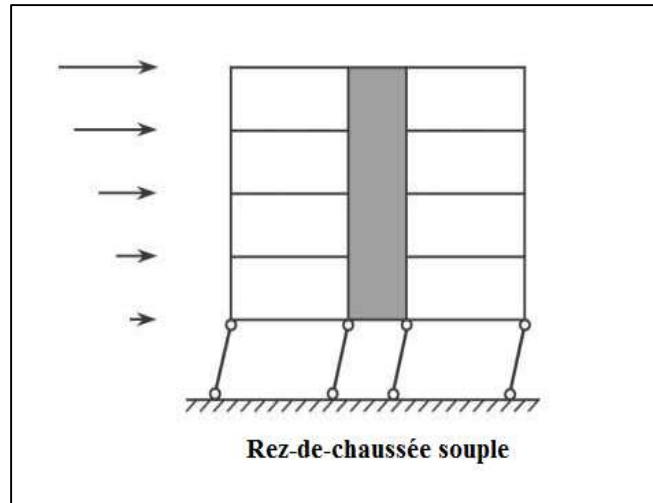
Lorsqu'un niveau est significativement moins rigide que le niveau immédiatement supérieur, est appelé « niveau souple ». Les déformations de la construction provoquées par les séismes sont concentrées sur ce niveau. Si elles deviennent importantes, ce qui se produit lors de séismes forts ou moyens, la structure ne peut les tolérer. Une conséquence fréquente est l'écrasement du niveau [11].

Les dommages structuraux graves subis par plusieurs bâtiments modernes pendant des séismes récents illustrent l'importance d'éviter les changements soudains de la rigidité et des forces latérales [8].

L'effet de niveau souple se produit généralement en rez-de-chaussée d'immeubles, principalement pour deux raisons. D'une part, les rez-de-chaussée comportent souvent de

vastes locaux sans cloisons, une façade vitrée ou de nombreuses ouvertures. D'autre part, leur hauteur est souvent plus grande que celle des autres niveaux (cas des locaux de commerces) [11].

Un exemple typique des effets néfastes dans le cas des bâtiments avec un étage fragile :



**Figure I.1** : Rez-de-chaussée souple [12].



**Figure I.2** : Destruction du RDC [12].



**Figure I.3** : Bâtiment d'habitation de 3 étages, (EL Asnam, Algérie), est endommagé par le séisme de 1980 d'EL Asnam [8].



**Figure I.4 :** Disparition du Rez-de-chaussée (RDC est effondré complètement (étage souple)), Zemmouri ville, Séisme de 2003, Boumerdes, Algérie [8].



**Figure I.5 :** Effondrement 'étage souple' du RDC– Séisme de 2003, Boumerdes, Algérie [7].

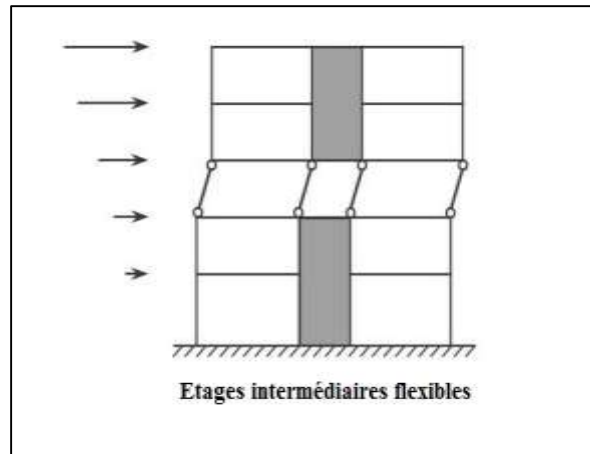
### I.1.2. Étages intermédiaires flexibles :

C'est le cas d'étage transparent (sans murs ou cloisons de séparation) pour des besoins d'espace.

L'absence de cloisons et/ou de murs extérieurs dans un étage par rapport aux étages supérieurs, entraîne une diminution de sa rigidité relative qui peut affecter de manière significative la stabilité de l'ensemble de la structure [11].

Cet étage peut également être plus flexible que d'autres s'il est équipé de dispositifs de résistance plus faible ou si ces dispositifs soient endommagés ou totalement déficients. Il arrive également que la faible résistance finale du niveau réduit drastiquement les caractéristiques de rigidité et de résistance sur une certaine hauteur dans toute la partie supérieure du bâtiment, ce qui soumet à un mécanisme redouté les colonnes (ou l'étage) [12].

Du point de vue règlement parasismique algérienne RPA 99, version 2003, ces situations ne sont pas interdites mais deux articles sont introduits pour prescrire les mesures à prendre pour limiter leurs effets. Ces articles concernent la limitation du déplacement relatif entre les étages (article 5.10) et la prise en compte de l'effet du P-Delta (article 5.9) [14].



**Figure I.6 :** Etage intermédiaire flexible [12].



**Figure I.7 :** Cisaillement des poteaux d'une construction à Bordj el bahri. Séisme de 2003, Boumerdes, Algérie [8].



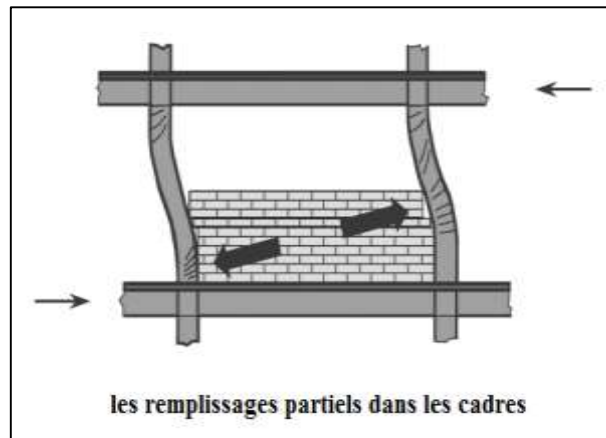
**Figure I.8 :** Perte d'un étage de la mairie de Kobe (Séisme de Kobe (Japon) en 1995) [8].

### I.1.3. Remplissages partiels :

Ce type de structures très vulnérables doit être d'une utilisation très restreinte voir même définitivement interdites dans les zones de moyenne à forte sismicité et de les substituer par des structures mixtes. Le remplissage partiel des panneaux entre les éléments d'ossature crée un problème de tronçon court qui peut changer le comportement de ces éléments avec un mécanisme de rupture différent. On peut éviter l'effet néfaste du remplissage partiel des cadres, ou le réduire notablement, en disposant des joints entre les colonnes et le remplissage [3].

L'endommagement des éléments structuraux par écrasement de béton et flambement des armatures longitudinales, ce poteau est sollicité par un effort normal très important et le remplissage applique des contraintes de confinement qui offre au poteau une résistance en compression importante sur la hauteur du mur et ça crée une section courte qui est moins résistante [3].

Lors du calcul du ferrailage des éléments des structures, il faut tenir compte du remplissage partiel car ce dernier peut nous produire des ruptures par effort tranchant des sections courtes qui ne sont pas calculées pour résister cette sollicitation [3].



**Figure I.9 :** Les remplissages partiels dans les cadres [12].



**Figure I.10 :** Des endommagements à cause de remplissage partiel, (Adana-Ceyhan, Turquie, 1998) [12].



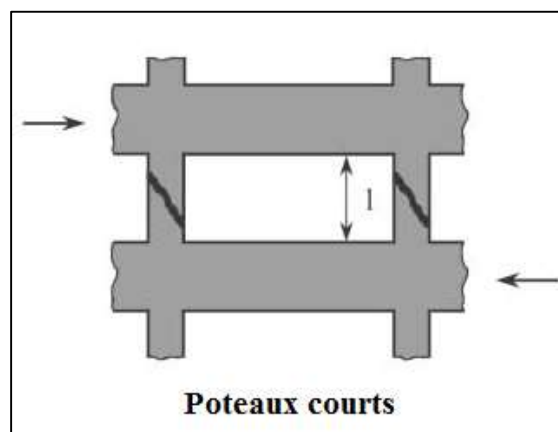
**Figure I.11** : Des endommagements à cause de remplissage partiel, (Izmit, Turquie, 1999) [12].

#### I.1.4. Poteaux courts :

Les efforts de cisaillement dans les poteaux sont souvent plus importants lorsque l'élançement géométrique du poteau est faible, et on désigne par poteau court un poteau dont l'élançement géométrique est inférieur à 5, une attention particulière est accordée par le RPA 99 version 2003 au cas de poteaux courts (l'article 7.4.3.2) [13].

Domage en raison d'un effort de cisaillement cyclique avec un faible moment fléchissant sous un effort axial de compression très élevé conduit au phénomène des poteaux courts [8].

La forme finale ultime de ce type de dommages est l'échec explosif où l'éclatement de la surface extérieure du béton sans dommages des armatures ; puis l'écrasement du béton, rupture des cadres et flambement des armatures. Les poteaux courts mènent habituellement à l'effondrement total du bâtiment [8].



**Figure I.12** : Poteau court [12].



**Figure I.13 :** Destruction par cisaillement du poteau court, poteau endommagée par le séisme de Boumerdes, Algérie [14].



**Figure I.14 :** Dommages dus à l'effet de poteau court en vide sanitaire [14].



**Figure I.15 :** Destruction des poteaux à cause du fonctionnement en "poteaux courts", seisme de 2003 Boumerdes [14].



**Figure I.16 :** Détail de destruction des poteaux à cause du fonctionnement en "poteaux courts" [1].

### I.1.5. Rotules plastique aux nœuds dans les poteaux :

Sous un chargement sismique, l'apparition des rotules plastiques se fait aux extrémités des éléments structuraux, de préférence dans les poutres. La dissipation de l'énergie sismique se fait à travers l'apparition de ses rotules plastiques ; zone d'un élément de structure (poutre, poteau ou voile) subissant des déformations irréversible, la rotule plastique est capable de dissiper de l'énergie sous sollicitations alternées. Au-delà d'un

seuil de sollicitation, elle se comporte comme une articulation autorisant la rotation des autres parties de l'élément [5].

L'article 7.6.2 du RPA 99 version 2003 exige la vérification de la somme des moments résistants ultimes dans les zones nodales poteau-poutre. Pour que la rotule plastique se forme dans les poutres plutôt que dans les poteaux, cet article recommande que les moments résistants des poteaux soient au moins 25% plus forts que ceux des poutres. On voit bien l'effet poutre forte/poteau faible. Par contre le poteau est assez fort pour que la rotule se produise dans la poutre [13].

Même si le poteau est suffisamment et correctement armé, tant en armatures longitudinales qu'en cadres (béton bien confiné), ceci reste insuffisant. En effet, lors d'un fort mouvement horizontal, le poteau « faible » va faire effondrer la structure [5].

Il a été constaté que ce mode de ruine par formation de rotules plastiques dans les poteaux était le plus courant et a constitué la cause principale d'effondrement total ou partiel de la majorité des constructions n'ayant pas résisté en 2003 [5].



**Figure I.17** : Rupture de la zone nodale [5].



**Figure I.18** : Formation de rotule plastique, Bordj el bahri. Séisme de 2003, Boumerdes, Algérie [8].



**Figure I.19** : Rotule dans le poteau  
(Comportement à éviter) [5].



**Figure I.20** : Rotule dans la poutre  
(Comportement recherché) [5].

## I.2. Présentation des problèmes pathologiques en présences des voiles :

### I.2.1. Distributions asymétriques des voiles :

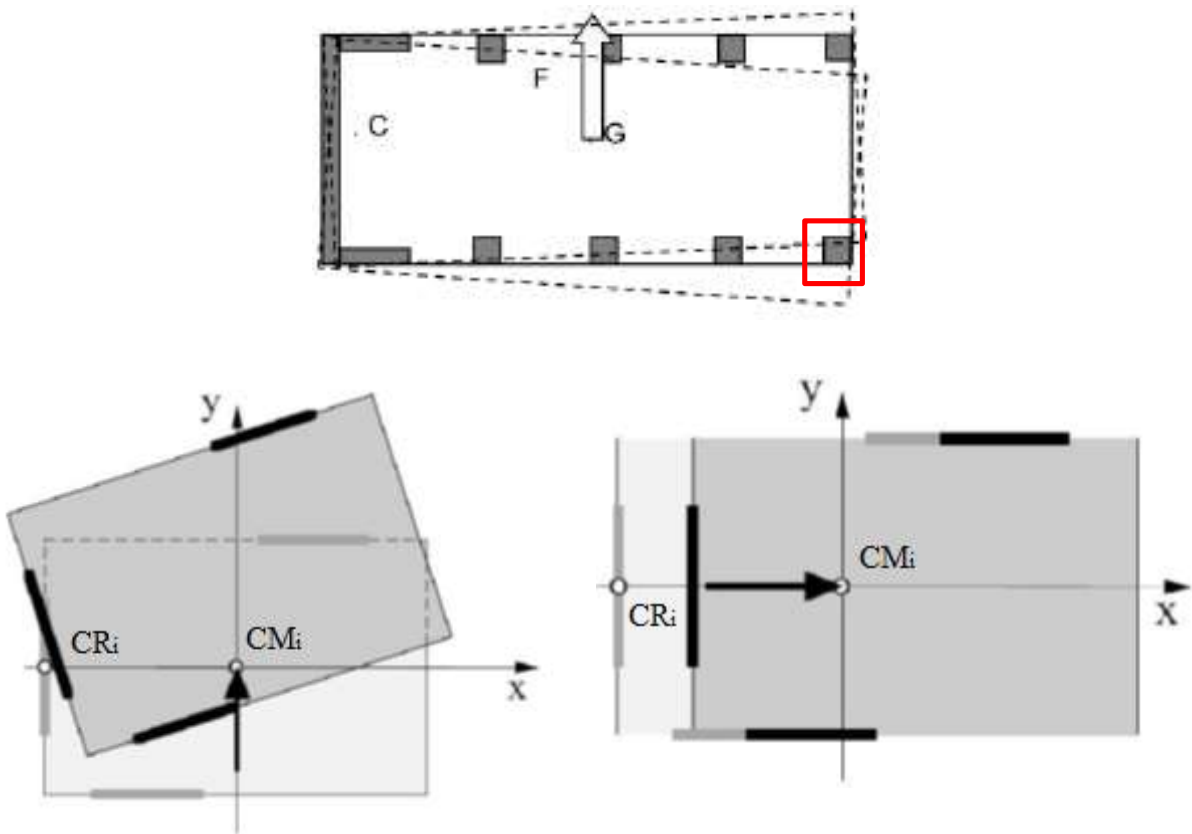
La torsion d'ensemble survient lorsque le centre de rigidité de la structure se trouve décalé par rapport au centre des masses, c'est notamment le cas lorsque les éléments de contreventement sont répartis d'une manière asymétrique par rapport au centre de gravité de la structure. Ce type de sollicitation est mal toléré par la structure, car l'ouvrage vrille autour d'un axe vertical au lieu de fléchir comme un bloc, subissant ainsi à chaque niveau des déplacements horizontaux différents [12].



**Figure I.21** : Destruction des bâtiments par torsion du béton armé,  
Séisme de Gölcük, 17 août 1999 (Turquie) [6].



**Figure I.22 :** Dommages aux poteaux d'angle dus à la torsion induite par l'excentrement des murs de contreventement du rez-de-chaussée (la disposition asymétrique des voiles), séisme de Tokachi-Oki, Japon, 16.5.1968 [8].



**Figure I.23 :** Bâtiment asymétrique [9].

$CM_i$  : Centre de masse.

$CR_i$ : Centre de cisailment.

**a. Centre de masse  $CM_i$ :**

Le centre de masse de la structure par définition est le point qui permet à ce corps de se maintenir en équilibre sous son poids propre, et le point d'application de la résultante des efforts extérieurs «vent ; séisme ;... » [8], On a :

$$\begin{cases} X_{cm} = \frac{\sum m_i \cdot x_{Gi}}{\sum m_i} \\ Y_{cm} = \frac{\sum m_i \cdot y_{Gi}}{\sum m_i} \end{cases}$$

Avec  $m_i$ : La masse sismique de l'étage.

$\begin{cases} x_{Gi} \\ y_{Gi} \end{cases}$  : Les coordonnées de la position du centre de gravité  $CM_i$  de l'étage.

**b. Centre de torsion  $CT_i$ :**

Le centre de torsion c'est le centre des raideurs ou des rigidités : le point où si on applique une force on n'obtient pas de rotation d'axe perpendiculaire au plan de la force, On a [8] [12] :

$$\begin{cases} X_{CT} = \frac{\sum K_{yi} \cdot x_{Ti}}{\sum K_{yi}} \\ Y_{CT} = \frac{\sum K_{xi} \cdot y_{Ti}}{\sum K_{xi}} \end{cases}$$

Avec  $K_{xi}$  : Rigidité du bâtiment selon le sens x-x.

$K_{yi}$  : Rigidité du bâtiment selon le sens y-y.

$\begin{cases} x_{Ti} \\ y_{Ti} \end{cases}$  : Les coordonnées de la position du centre de torsion  $CT_i$  de l'étage.

**c. Rigidités des voiles  $K$  :**

La rigidité du voile est la caractéristique qui indique sa résistance à la déformation élastique, On a [12] :

$$\begin{cases} K_{xi} = \frac{12EI}{h^3} \\ K_{yi} = \frac{12EI}{h^3} \end{cases}$$

Avec :  $h$  : La hauteur d'étage.  
 $E$  : module de Young.  
 $I$  : Moment d'inertie.

❖ Ou :

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{xi} = \frac{F}{\Delta_x} \\ K_{yi} = \frac{F}{\Delta_y} \end{array} \right.$$

Avec :  $F$  : la force unitaire  $F= 1 \text{ t}$ .  
 $\Delta_x$  : Le déplacement selon le sens x-x.  
 $\Delta_y$  : Le déplacement selon le sens y-y.

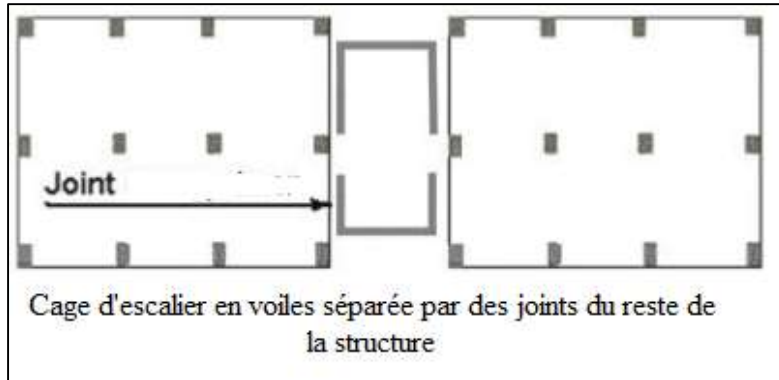
**I.2.2. Voiles existants rendus inertes par défaut de conception non effective : exemple :**  
 cage d'ascenseur ou d'escalier séparée.

Exemple Immeuble (R+4) ,140 logements à Dellys (Séisme de Boumerdes 2003) :



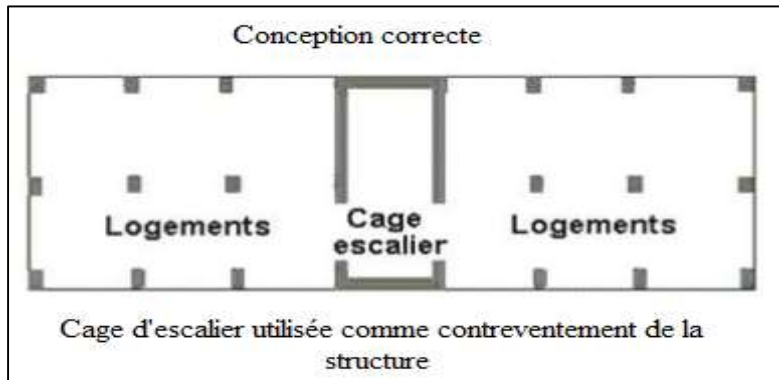
**Figure I.24 :** Immeuble (R+4) ,140 logements à Dellys  
 (Séisme de Boumerdes 2003), Algérie [1].

Cet immeuble qui a perdu son rez-de-chaussée et deux étages présentait un grave défaut de conception en isolant les blocs d'habitation en portiques de la cage d'escalier en voiles (donc les voiles de la cage sont rendus inefficaces vis-à-vis du contreventement parce qu'ils sont isolés du reste de la structure par des joints) [1].

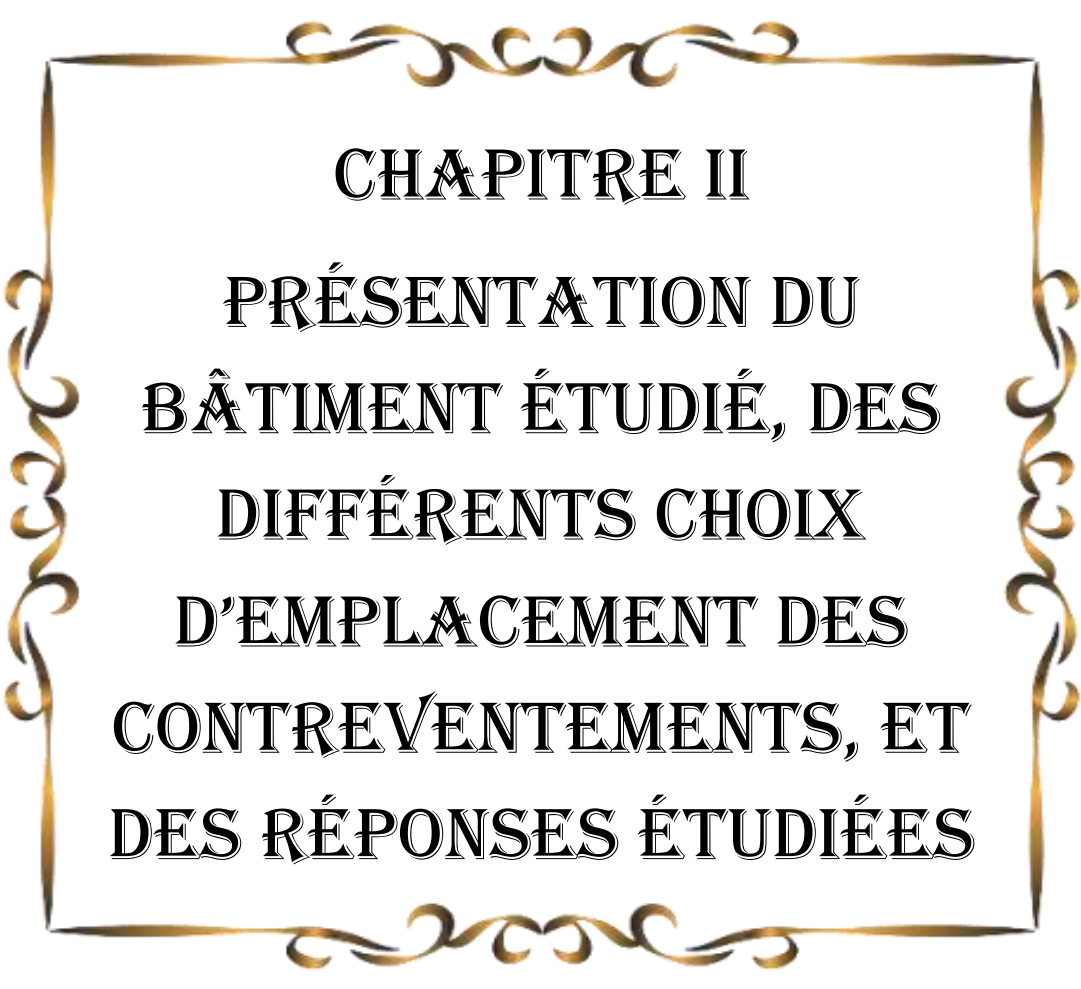


**Figure I.25 :** Cage d'escalier en voiles séparée par des joints du reste de la structure [1].

Ces dommages auraient pu être évités si une conception correcte est envisagée :



**Figure I.24 :** Cage d'escalier utilisée comme contreventement de la structure [1].



**CHAPITRE II**

**PRÉSENTATION DU  
BÂTIMENT ÉTUDIÉ, DES  
DIFFÉRENTS CHOIX  
D'EMPLACEMENT DES  
CONTREVENTEMENTS, ET  
DES RÉPONSES ÉTUDIÉES**

## Chapitre II : Présentation du bâtiment étudié, des différents choix d'emplacement des contreventements, et des réponses étudiées

### Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons, en premier présenter le bâtiment étudié, ensuite des différents choix d'emplacement des voiles de contreventement seront proposés, en terminant par une présentation des paramètres qui seront utilisés comme critères de comparaison pour déterminer la disposition optimale des voiles.

### II.1. Description de la structure étudiée :

La structure étudiée est un bâtiment en (**R+7**) d'une forme irrégulière à usage d'habitation.

Cette structure est classée comme un ouvrage d'importance moyenne (Groupe **2**) selon le RPA99 vs2003 (Article 3.2).

Le bâtiment est implanté sur un sol ferme de classe (**S<sub>2</sub>**), à la commune de M'sila, willaya de M'sila, situé dans une zone à sismicité moyenne (**ZoneII<sub>a</sub>**) selon le RPA99 vs2003.

Le bâtiment à étudier est constitué d'un seul bloc, de dimensions suivantes :

Les caractéristiques	Dimension en (m)
Hauteur des étages courants	3.23
Hauteur du RDC	4.08
Hauteur totale du bâtiment	26.69
Longueur totale du bâtiment en plan	35.55
Largeur totale du bâtiment en plan	35.61

**Tableau II.1** : Les caractéristiques géométriques de la structure

## Chapitre II : Présentation du bâtiment étudié, des différents choix d'emplacement des contreventements, et des réponses étudiées

### II.1.1. Les vues en plan et en élévation du projet :

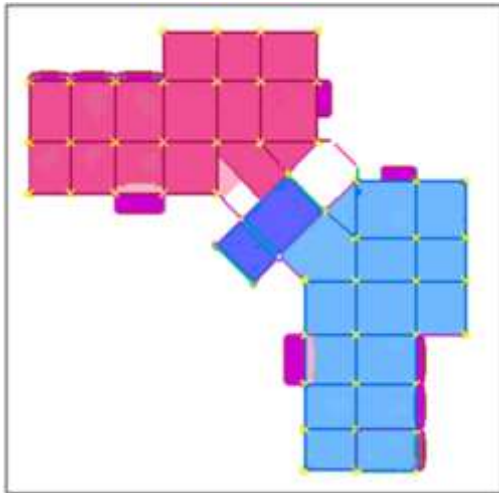


Figure II.1 : Vue en plan, RDC

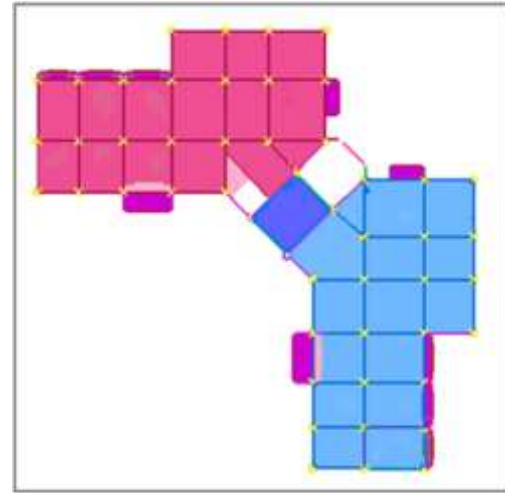


Figure II.2 : Vue en plan, Etage courant

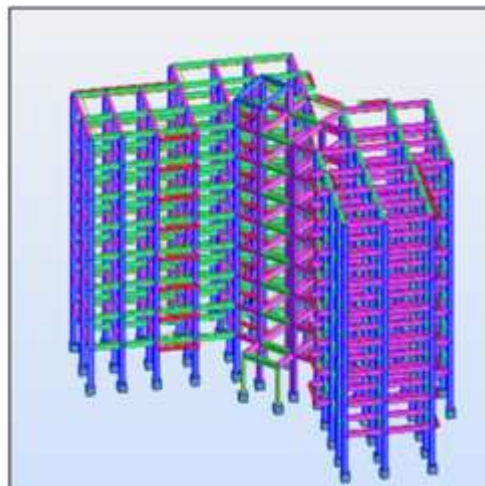


Figure II.3 : Vue en élévation

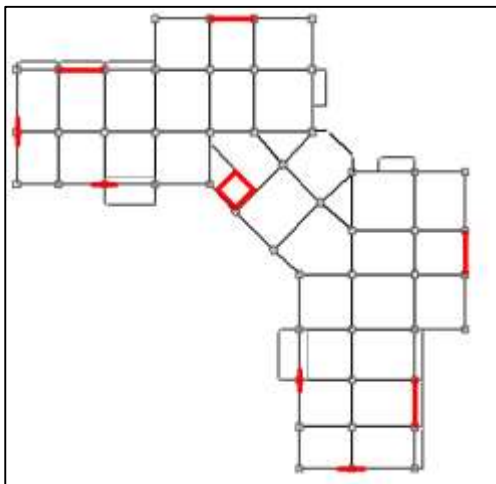
### II.2. Choix des dispositions des voiles à étudier :

Afin de ne pas soumettre la structure à une torsion d'axe vertical, les différents codes parasismiques préconisent la répartition symétrique des éléments de contreventement par rapport au centre de gravité du niveau.

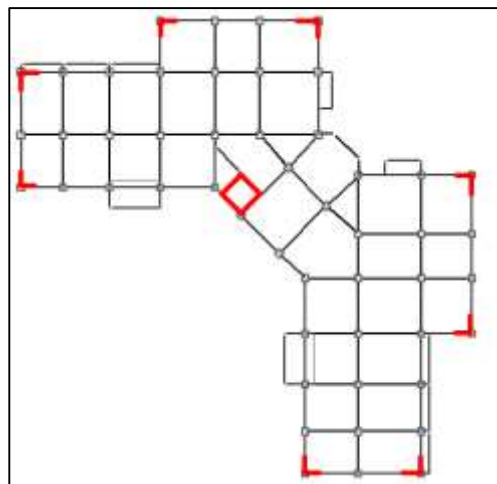
## Chapitre II : Présentation du bâtiment étudié, des différents choix d'emplacement des contreventements, et des réponses étudiées

En tenant compte de cette prescription, les variantes sont choisies de la manière suivante :

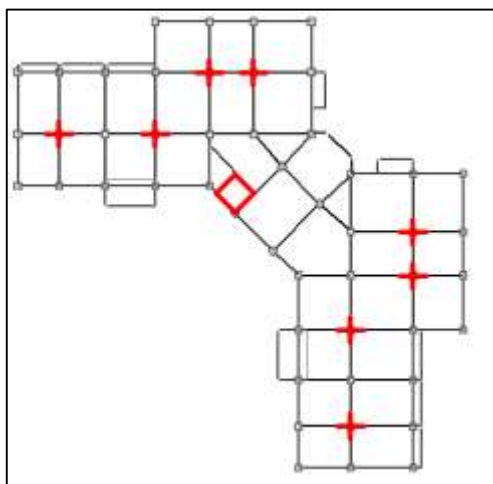
Nous avons proposé deux variantes avec un contreventement externe, et deux variantes avec un contreventement interne et quatre variantes en combinant entre les variantes précédentes.



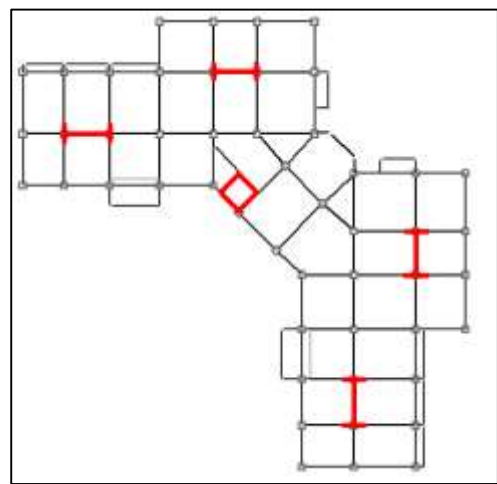
**Figure II.4 :** La variante 1



**Figure II.5 :** La variante 2

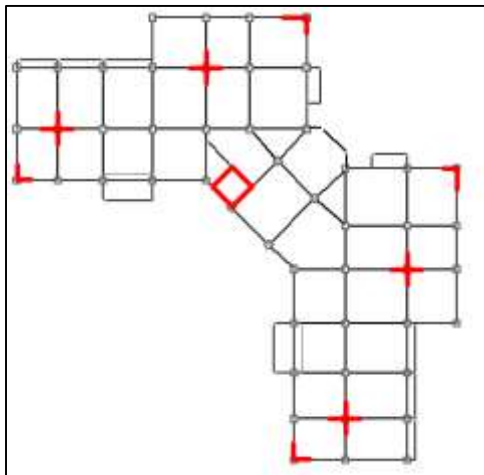


**Figure II.6 :** La variante 3

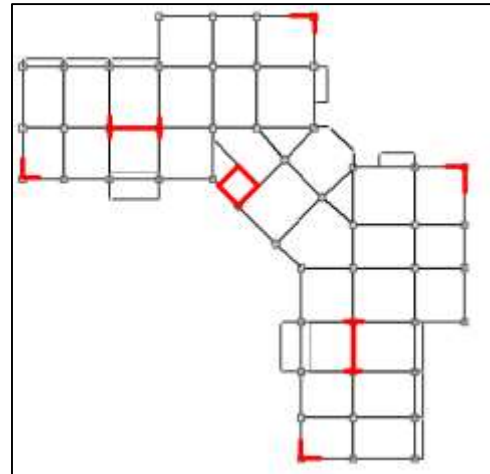


**Figure II.7 :** La variante 4

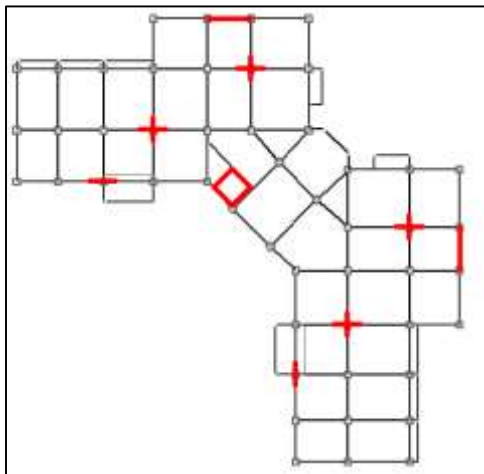
## Chapitre II : Présentation du bâtiment étudié, des différents choix d'emplacement des contreventements, et des réponses étudiées



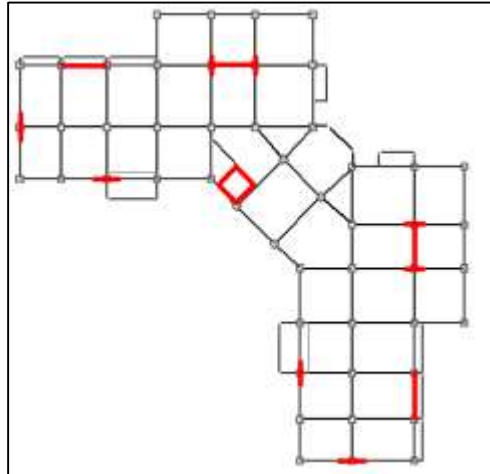
**Figure II.8 : La variante 5**



**Figure II.9 : La variante 6**



**Figure II.10 : La variante 7**



**Figure II.11 : La variante 8**

### II.3. Présentation des réponses étudiées :

Les paramètres soumis à l'étude sont ceux liés aux réponses de la structure aux charges horizontales dynamiques (sismiques) énumérés comme suit :

- Les périodes propres de la structure.
- La participation de la masse de la structure.
- Les déplacements inter-étages et les déplacements totaux.
- La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.
- La force sismique à la base de la structure.
- Les efforts tranchants sollicitant les poutres et poteaux.



**CHAPITRE III**  
**ANALYSE ET**  
**PRÉSENTATION DES**  
**RÉSULTATS**

**Introduction :**

Nous allons commencer ce chapitre par des généralités concernant l'analyse : Le logiciel utilisé, les cas de charges prises en considération, le type d'analyse effectuée ; ensuite nous soulèverons certains points particuliers au calcul sous charges horizontales (sismiques), et enfin nous présenterons les résultats obtenus des calculs pour toutes les variantes proposées.

**III.1. Analyse de la structure :****III.1.1.Considérations générales liées à l'analyse :****a. Logiciel utilisé :**

Le logiciel utilisé est le : Autodesk Robot Structural Analysis version 2010, travaillant avec la méthode des éléments finis, pour les charges sismique il utilise la méthode spectrale, le spectre de réponse est obtenu automatiquement en donnant la zone sismique, le site sismique, le groupe d'usage et les coefficients Q, R.

La masse totale de la structure est obtenu en indiquant au programme les cas de charges prises en compte avec leur coefficients (dans notre cas  $G + 0.2Q$ ) l'effort sismique pour chaque mode pris en compte est obtenu par la formule  $E_i = m_i((S_a/g)$  où  $g$  est l'accélération gravitaire,  $(S_a/g)_i$  est la valeur spectrale (rapport de l'accélération spectrale à  $g$ ), et  $m$  est la masse participante au mode  $i$  concerné.

Ensuite une combinaison des modes permet la détermination de l'effort sismique total.

**b. Cas de charges prises en considération :**

Les cas des charges considérés dans les calculs sont :

**➤ Les charges permanentes G :**

- Le poids propre de la structure.
- Les charges des planchers :
  - Plancher terrasse : Corps creux : **G = 5.69 KN/m<sup>2</sup>**  
Dalle plane : **G = 2.99 KN/m<sup>2</sup>**
  - Plancher EC : Corps creux : **G = 4.16 KN/m<sup>2</sup>**  
Dalle plane : **G = 1.46 KN/m<sup>2</sup>**
  - Balcon : Balcon terrasse : **G = 3.07 KN/m<sup>2</sup>**  
Balcon EC: **G = 1.54 KN/m<sup>2</sup>**
- Les murs : Mur extérieur : **G = 2.89 KN/m<sup>2</sup>**  
Mur intérieur : **G = 1.46 KN/m<sup>2</sup>**

- Les charges d'exploitation Q :
  - Plancher : Plancher terrasse :  $Q = 1 \text{ KN/m}^2$   
Plancher EC :  $Q = 1.5 \text{ KN/m}^2$
  - Balcon :  $Q = 3.5 \text{ KN/m}^2$
- Les cas de charges sismiques selon x et selon y.

**c. Type de calcul effectué :**

Une analyse linéaire en négligeant les efforts et déplacements du 2ème ordre liés à l'effet P-Delta, et une analyse non linéaire en incluant dans les calculs les efforts et déplacements du 2ème ordre dus à l'effet P-Delta.

**III.1.2.Considérations générales liées aux charges horizontales :**

- a. Centre de masse, centre de rigidité et torsion des structures asymétriques sous charges horizontales :

- **Centre de masse  $CM_j$ :**

Donnée par la formule :

$$\begin{cases} X_{cm} = \frac{\sum m_i \cdot x_{Gi}}{\sum m_i} \\ Y_{cm} = \frac{\sum m_i \cdot y_{Gi}}{\sum m_i} \end{cases}$$

Avec  $m_i$  : La masse sismique de l'étage.

$\begin{cases} x_{Gi} \\ y_{Gi} \end{cases}$  : Les coordonnées de la position du centre de gravité  $CM_j$  de l'étage.

- **Centre de torsion  $CT_j$ :**

Donnée par la formule :

$$\begin{cases} X_{CT} = \frac{\sum K_{yi} \cdot x_{Ti}}{\sum K_{yi}} \\ Y_{CT} = \frac{\sum K_{xi} \cdot y_{Ti}}{\sum K_{xi}} \end{cases}$$

Avec  $K_{xi}$  : Rigidité du bâtiment selon le sens x-x.

$K_{yi}$  : Rigidité du bâtiment selon le sens y-y.

$\begin{cases} x_{Ti} \\ y_{Ti} \end{cases}$  : Les coordonnées de la position du centre de torsion  $CT_j$  de l'étage.

• **Rigidités des voiles K :**

Donnée par la formule : 
$$\begin{cases} K_{xi} = \frac{12EI}{h^3} \\ K_{yi} = \frac{12EI}{h^3} \end{cases}$$

Avec : h : La hauteur d'étage.

E : module de Young.

I : Moment d'inertie.

❖ Ou la formule : 
$$\begin{cases} K_{xi} = \frac{F}{\Delta_x} \\ K_{yi} = \frac{F}{\Delta_y} \end{cases}$$

Avec : F : la force unitaire F= 1 t.

$\Delta_x$  : Le déplacement selon le sens x-x.

$\Delta_y$  : Le déplacement selon le sens y-y.

**b. Satisfaction des exigences parasismiques du RPA :**

Le RPA exige que la charge sismique à la base calculée par la méthode dynamique doit être  $\geq 80\%$  de celle calculée par la méthode statique équivalente donnée par :

$$V = \frac{ADQ}{R} W$$

Où :

A : Coefficient d'accélération de zone.

Q : Facteur de qualité.

D : Coefficient d'amplification dynamique donnée par les formules :

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(T_2/T)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(T_2/3.0)^{2/3} (3.0/T)^{5/3} & T \geq 3.0s \end{cases}$$

Avec T est la période fondamentale de la structure donnée par :

$$T = C_T h_N^{3/4} \quad \text{ou} \quad T = 0.09 h_N / \sqrt{L}$$

W : Poids total de la structure, il est égal à la totalité du poids de la structure et des charges permanentes et une partie du poids des charges d'exploitation =  $W_G + \beta W_Q$ , pour les bâtiments  $\beta = 0.2$ .

R : Coefficient de comportement global de la structure.

Pour notre cas :

$$C_T = 0.050, \quad h_N = 26.69 \text{ m}, \quad L_x = 35.55 \text{ m}, \quad L_y = 35.61 \text{ m}$$

$$\begin{cases} T_x = \min(C_T h_N^{3/4}, 0.09 h_N / \sqrt{L_x}) = 0.402 \text{ s} \\ T_y = \min(C_T h_N^{3/4}, 0.09 h_N / \sqrt{L_y}) = 0.402 \text{ s} \end{cases}$$

A= 0.15 (ZoneII<sub>a</sub>)

Q= 1.1

R= 4 (Portiques contreventés par des voiles)

D=1.9

Alors pour la structure :

$$W = 48\,628,17 \text{ KN}$$

$$\text{Alors } V_x = 4\,355,69 \text{ KN}$$

$$V_y = 4\,355,69 \text{ KN}$$

Et pour les structures contreventées :

$$W = 52\,484,33 \text{ KN}$$

$$\text{Alors } V_x = 4\,113,46 \text{ KN}$$

$$V_y = 4\,113,46 \text{ KN}$$

**III.2. Présentation des résultats :**

**III.2.1. Résultats d'analyse linéaire :**

**III.2.1.1. La structure sans voiles de contreventement :**

**a. La période fondamentale :**

Mode	Période [sec]
1	1,29
2	1,26
3	1,16

**Tableau III.1 :** La période fondamentale de la structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	20,05	25,63	0
2	45,53	38,13	0
3	18,32	20,14	0

**Tableau III.2 :** La masse modale de la structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0,6	0,6	0,6	0,6
2	0,7	0,8	1,3	1,4
3	0,7	0,6	2,0	2,0
4	0,7	0,7	2,7	2,7
5	0,5	0,5	3,2	3,2
6	0,4	0,5	3,6	3,7
7	0,3	0,3	3,9	4,0
8	0,2	0,2	4,1	4,2

**Tableau III.3 :** Le déplacement des étages, structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [KN]	$F_x$ sur les poteaux [KN]	$F_y$ sur les voiles [KN]	$F_y$ sur les poteaux [KN]
1	0,0	-3999,58	0,0	3630,61
2	0,0	-3868,34	0,0	3549,13
3	0,0	-3613,92	0,0	3389,04
4	0,0	-3236,44	0,0	3027,31
5	0,0	-2744,77	0,0	2569,77
6	0,0	-2154,84	0,0	2018,65
7	0,0	-1486,14	0,0	1395,30
8	0,0	-762,13	0,0	715,16

**Tableau III.4 :** La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 3991,49 \text{ KN} \\ V_y = 3972,45 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Vérification vis-à-vis P-Δ :

➤ Article 5.9 RPA2003

$$\theta = P_k \cdot \Delta_k / V_k \cdot h_k \leq 0.10, \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Etage	P <sub>k</sub> [KN]	h <sub>k</sub> [m]	Sens-X			Sens-Y		
			Δ <sub>rk</sub> [cm]	V <sub>k</sub> [KN]	θ <sub>x</sub>	Δ <sub>rk</sub> [cm]	V <sub>k</sub> [KN]	θ <sub>y</sub>
1	9847,21	4,08	0,6	-3999,58	<b>-0,004</b>	0,6	3630,61	<b>0,004</b>
2	9092,63	3,23	0,7	-3868,34	<b>-0,005</b>	0,8	3549,13	<b>0,006</b>
3	9092,63	3,23	0,7	-3613,92	<b>-0,005</b>	0,6	3389,04	<b>0,005</b>
4	9092,63	3,23	0,7	-3236,44	<b>-0,006</b>	0,7	3027,31	<b>0,007</b>
5	9092,63	3,23	0,5	-2744,77	<b>-0,005</b>	0,5	2569,77	<b>0,005</b>
6	9092,63	3,23	0,4	-2154,84	<b>-0,005</b>	0,5	2018,65	<b>0,007</b>
7	9092,63	3,23	0,3	-1486,14	<b>-0,006</b>	0,3	1395,30	<b>0,006</b>
8	9734,80	3,23	0,2	-762,13	<b>-0,008</b>	0,2	715,16	<b>0,008</b>

**Tableau III.5 :** Vérification vis-à-vis P-Δ, structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire)

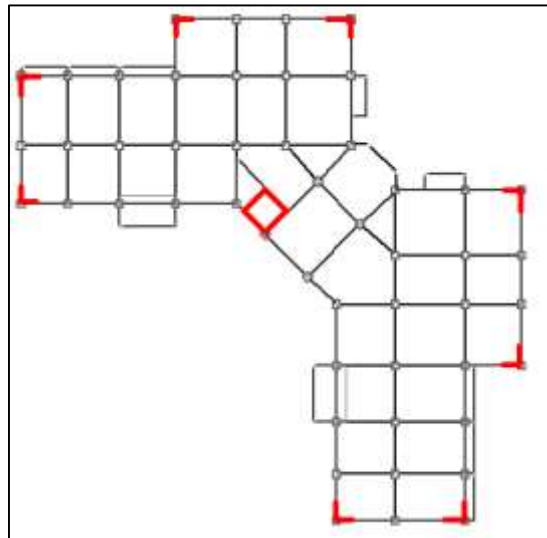
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :

Nœuds	Les barres	V <sub>x</sub> [KN]	V <sub>y</sub> [KN]
<b>180</b>	Poteau 201	52,69	95,26
	Poutre 231	1,16	0,27
	// 232	3,09	0,69
	// 276	2,58	0,17
	// 277	2,59	0,12
<b>68509</b>	Poteau 2621	19,86	55,90
	Poutre 2675	1,20	1,64
	// 2676	4,67	0,47
	// 2699	0,91	0,99
	// 2726	2,47	0,33
<b>81634</b>	Poteau 2954	25,87	30,85
	Poutre 3015	1,80	1,45
	// 3016	10,28	1,00
	// 3036	1,15	1,40

**Tableau III.6 :** Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres, structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire)

III.2.1.2. Etude des variantes :

III.2.1.2.1. Variante 1 :



Variante 1

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1.07
2	1.02
3	0.95

Tableau III.7 : La période fondamentale V1  
(Analyse linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	46.79	1.26	0
2	0.83	63.78	0
3	26.26	8.63	0

Tableau III.8 : La masse modale V1

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0.3	0.2	0.3	0.2
2	0.4	0.3	0.7	0.5
3	0.6	0.5	1.3	1.0
4	0.6	0.5	1.9	1.5
5	0.6	0.5	2.5	2.0
6	0.5	0.5	3.0	2.5
7	0.3	0.3	3.3	2.8
8	0.2	0.2	3.5	3.0

**Tableau III.9** : Le déplacement des étages V1  
(Analyse linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	64,29	35,71	68,71	31,30
2	49,69	50,31	55,31	44,69
3	20,20	79,80	25,22	74,78
4	18,00	82,00	22,17	77,83
5	13,75	86,25	15,54	84,46
6	10,41	89,59	13,23	86,77
7	1,79	98,21	2,79	97,21
8	21,41	78,59	24,09	75,91

**Tableau III.10** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V1 (Analyse linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 3991,30 \text{ KN} \\ V_y = 4265,22 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$  :

➤ Article 5.9 RPA2003

$$\theta = P_k \cdot \Delta_k / V_k \cdot h_k \leq 0.10$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Etage	$P_k$ [KN]	$h_k$ [m]	Sens-X			Sens-Y		
			$\Delta_{rk}$ [cm]	$V_k$ [KN]	$\theta_x$	$\Delta_{rk}$ [cm]	$V_k$ [KN]	$\theta_y$
<b>1</b>	10978,69	4,08	0,3	1061,05	<b>0,008</b>	0,2	4014,84	<b>0,001</b>
<b>2</b>	10006,28	3,23	0,4	-28,03	<b>-0,442</b>	0,3	4794,74	<b>0,002</b>
<b>3</b>	7507,57	3,23	0,6	-2219,69	<b>-0,006</b>	0,5	3760,22	<b>0,003</b>
<b>4</b>	9348,8	3,23	0,6	-2212,18	<b>-0,008</b>	0,5	3499,08	<b>0,004</b>
<b>5</b>	7507,54	3,23	0,6	-2154,44	<b>-0,006</b>	0,5	3017,53	<b>0,004</b>
<b>6</b>	9348,83	3,23	0,5	-1946,86	<b>-0,007</b>	0,5	2507,16	<b>0,006</b>
<b>7</b>	9341,46	3,23	0,3	-1706,48	<b>-0,005</b>	0,3	1811,07	<b>0,005</b>
<b>8</b>	9994,25	3,23	0,2	-878,52	<b>-0,007</b>	0,2	1681,94	<b>0,004</b>

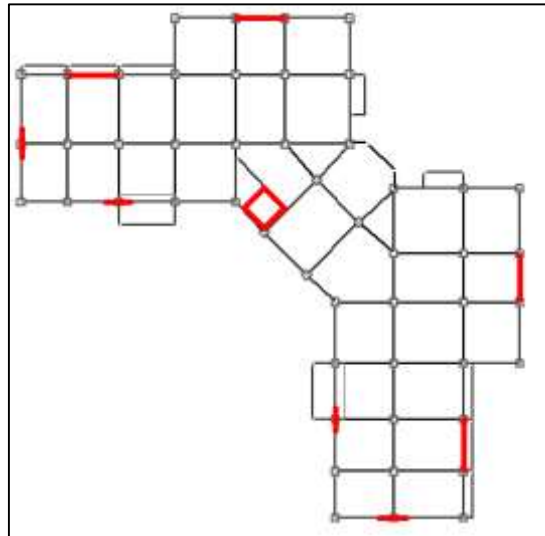
**Tableau III.11 : Vérification vis-à-vis P- $\Delta$  V1**  
(Analyse linéaire)

**g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :**

Nœuds	Les barres	$V_x$ [KN]	$V_y$ [KN]
<b>180</b>	Poteau 201	48,54	51,31
	Poutre 231	19,18	3,53
	// 232	29,78	3,87
	// 276	1,78	1,04
	// 277	8,31	2,69
<b>67931</b>	Poteau 2621	14.15	48.80
	Poutre 2675	3.44	11.03
	// 2676	6.09	0.59
	// 2699	6.62	7.06
	// 2726	17.06	6.16
<b>81056</b>	Poteau 2954	31.03	31.67
	Poutre 3015	4.76	1.40
	// 3016	3.32	0.43
	// 3036	2.01	0.80

**Tableau III.12 : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V1** (Analyse linéaire)

III.2.1.2.2. Variante 2 :



Variante 2

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1.07
2	0.99
3	0.88

Tableau III.13 : La période fondamentale V2  
(Analyse linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	39.55	3.83	0
2	12.72	56.17	0
3	19.82	11.20	0

Tableau III.14 : La masse modale V2  
(Analyse linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0.2	0.2	0.2	0.2
2	0.4	0.3	0.6	0.5
3	0.6	0.5	1.2	1.0
4	0.7	0.5	1.9	1.5
5	0.6	0.5	2.5	2.0
6	0.5	0.4	3.0	2.4
7	0.3	0.4	3.3	2.8
8	0.3	0.2	3.6	3.0

**Tableau III.15** : Le déplacement des étages V2 (Analyse linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	68,59	31,41	76,28	23,72
2	58,17	41,83	67,75	32,25
3	19,92	80,08	22,88	77,12
4	17,30	82,70	21,07	78,93
5	13,58	86,42	15,74	84,26
6	10,75	89,25	13,51	86,49
7	1,04	98,96	1,63	98,37
8	20,40	79,60	23,09	76,91

**Tableau III.16** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V2 (Analyse linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 3799.01 \text{ KN} \\ V_y = 4010.27 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$  :

➤ Article 5.9 RPA2003

$$\theta = P_k \cdot \Delta_k / V_k \cdot h_k \leq 0.10$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Etage	P <sub>k</sub> [KN]	h <sub>k</sub> [m]	Sens-X			Sens-Y		
			Δ <sub>rk</sub> [cm]	V <sub>k</sub> [KN]	θ <sub>x</sub>	Δ <sub>rk</sub> [cm]	V <sub>k</sub> [KN]	θ <sub>y</sub>
<b>1</b>	11000,73	4,08	0,2	1287,82	<b>0,004</b>	0,2	3800,73	<b>0,001</b>
<b>2</b>	9994,46	3,23	0,4	668,9	<b>0,019</b>	0,3	4443,35	<b>0,002</b>
<b>3</b>	7507,57	3,23	0,6	-2121,6	<b>-0,007</b>	0,5	3576,13	<b>0,003</b>
<b>4</b>	9348,8	3,23	0,7	-2164,75	<b>-0,009</b>	0,5	3340,84	<b>0,004</b>
<b>5</b>	7507,54	3,23	0,6	-2088,67	<b>-0,007</b>	0,5	2886,61	<b>0,004</b>
<b>6</b>	9348,83	3,23	0,5	-1868,97	<b>-0,008</b>	0,4	2406,95	<b>0,005</b>
<b>7</b>	9335,22	3,23	0,3	-1659,34	<b>-0,005</b>	0,4	1697,6	<b>0,007</b>
<b>8</b>	9996,38	3,23	0,3	-860,02	<b>-0,011</b>	0,2	1547,16	<b>0,004</b>

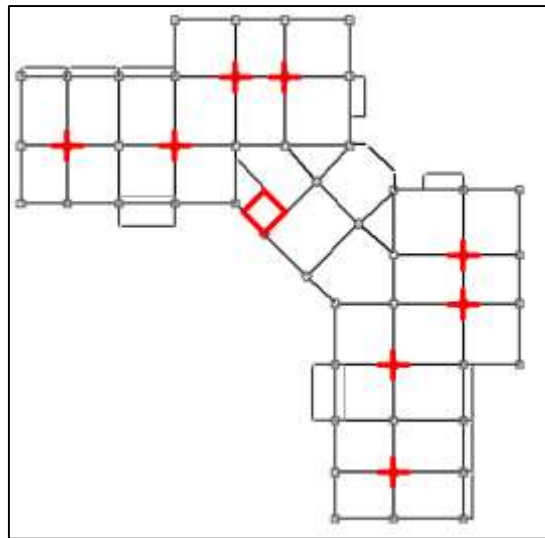
**Tableau III.17 : Vérification vis-à-vis P-Δ V2**  
(Analyse linéaire)

**g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :**

Nœuds	Les barres	V <sub>x</sub> [KN]	V <sub>y</sub> [KN]
<b>180</b>	Poteau 201	48,34	30,24
	Poutre 231	8,69	2,41
	// 232	15,83	15,87
	// 276	30,93	7,09
	// 277	40,16	4,46
<b>67931</b>	Poteau 2621	38,70	46,47
	Poutre 2675	7,19	4,82
	// 2676	6,00	0,47
	// 2699	3,58	3,03
	// 2726	1,96	4,94
<b>81056</b>	Poteau 2954	49,09	31,65
	Poutre 3015	4,68	1,62
	// 3016	3,99	0,34
	// 3036	2,30	1,30

**Tableau III.18 : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V2** (Analyse linéaire)

III.2.1.2.3.Variante 3 :



Variante 3

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1.14
2	1.05
3	1.00

Tableau III.19 : La période fondamentale V3  
(Analyse linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	24.36	0.95	0
2	8.51	57.44	0
3	42.57	16.82	0

Tableau III.20 : La masse modale V3  
(Analyse linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0.3	0.3	0.3	0.3
2	0.5	0.3	0.8	0.6
3	0.5	0.5	1.3	1.1
4	0.5	0.5	1.8	1.6
5	0.4	0.5	2.2	2.1
6	0.4	0.4	2.6	2.5
7	0.3	0.3	2.9	2.8
8	0.2	0.3	3.1	3.1

**Tableau III.21** : Le déplacement des étages V3  
(Analyse linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	57,21	42,79	63,02	36,98
2	48,58	51,42	55,14	44,86
3	21,62	78,38	27,00	73,00
4	16,91	83,09	20,87	79,13
5	13,55	86,45	14,33	85,67
6	9,50	90,50	11,79	88,21
7	4,05	95,95	4,72	95,28
8	21,86	78,14	24,53	75,47

**Tableau III.22** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V3 (Analyse linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 4245.39 \text{ KN} \\ V_y = 4380.18 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$  :

➤ Article 5.9 RPA2003

$$\theta = P_k \cdot \Delta_k / V_k \cdot h_k \leq 0.10$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Etage	P <sub>k</sub> [KN]	h <sub>k</sub> [m]	Sens-X			Sens-Y		
			Δ <sub>rk</sub> [cm]	V <sub>k</sub> [KN]	θ <sub>x</sub>	Δ <sub>rk</sub> [cm]	V <sub>k</sub> [KN]	θ <sub>y</sub>
<b>1</b>	10978,69	4,08	0,3	647,73	<b>0,012</b>	0,3	4709,1	<b>0,002</b>
<b>2</b>	9995,58	3,23	0,5	-144,22	<b>-0,107</b>	0,3	5265,05	<b>0,002</b>
<b>3</b>	9348,83	3,23	0,5	-2158,42	<b>-0,007</b>	0,5	3812,31	<b>0,004</b>
<b>4</b>	9348,8	3,23	0,5	-2276,46	<b>-0,006</b>	0,5	3459,93	<b>0,004</b>
<b>5</b>	7507,54	3,23	0,4	-2150,3	<b>-0,004</b>	0,5	2995,18	<b>0,004</b>
<b>6</b>	9347,22	3,23	0,4	-1973,96	<b>-0,006</b>	0,4	2467,07	<b>0,005</b>
<b>7</b>	9310,75	3,23	0,3	-1679,41	<b>-0,005</b>	0,3	1853,3	<b>0,005</b>
<b>8</b>	10002,97	3,23	0,2	-884,3	<b>-0,007</b>	0,3	1701,93	<b>0,005</b>

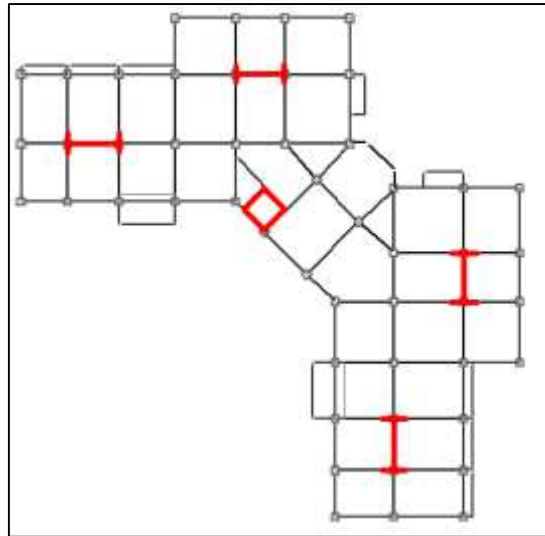
**Tableau III.23 : Vérification vis-à-vis P-Δ V3**  
(Analyse linéaire)

**g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :**

Nœuds	Les barres	V <sub>x</sub> [KN]	V <sub>y</sub> [KN]
<b>180</b>	Poteau 201	48.12	61.79
	Poutre 231	3.95	0.64
	// 232	9.77	2.84
	// 276	4.85	1.09
	// 277	9.62	0.95
<b>67931</b>	Poteau 2621	23.83	55.23
	Poutre 2675	9.10	2.66
	// 2676	5.76	0.11
	// 2699	4.18	1.15
	// 2726	10.04	0.09
<b>81056</b>	Poteau 2954	31.17	28.96
	Poutre 3015	4.97	1.36
	// 3016	3.44	0.96
	// 3036	2.05	0.77

**Tableau III.24 : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V3** (Analyse linéaire)

III.2.1.2.4.Variante 4 :



Variante 4

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1,08
2	0,93
3	0,84

Tableau III.25 : La période fondamentale V4  
(Analyse linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	36,51	0,00	0
2	1,53	65,38	0
3	31,46	3,56	0

Tableau III.26 : La masse modale V4  
(Analyse linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0,3	0,2	0,3	0,2
2	0,5	0,4	0,8	0,6
3	0,5	0,4	1,3	1,0
4	0,6	0,5	1,9	1,5
5	0,6	0,4	2,5	1,9
6	0,4	0,4	2,9	2,3
7	0,4	0,2	3,3	2,5
8	0,2	0,2	3,5	2,7

**Tableau III.27** : Le déplacement des étages **V4**  
(Analyse linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	67,38	32,62	76,91	23,09
2	61,00	39,00	72,66	27,34
3	19,29	80,71	19,65	80,35
4	17,34	82,66	19,15	80,85
5	13,63	86,37	15,68	84,32
6	9,33	90,67	11,01	88,99
7	0,82	99,18	1,94	98,06
8	16,01	83,99	13,48	86,52

**Tableau III.28** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux **V4** (Analyse linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 3699,41 \text{ KN} \\ V_y = 3946,90 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$  :

➤ Article 5.9 RPA2003

$$\theta = P_k \cdot \Delta_k / V_k \cdot h_k \leq 0.10$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Etage	P <sub>k</sub> [KN]	h <sub>k</sub> [m]	Sens-X			Sens-Y		
			Δ <sub>rk</sub> [cm]	V <sub>k</sub> [KN]	θ <sub>x</sub>	Δ <sub>rk</sub> [cm]	V <sub>k</sub> [KN]	θ <sub>y</sub>
1	11011,59	4,08	0,3	1150,9	<b>0,007</b>	0,2	3968,27	<b>0,001</b>
2	9992,7	3,23	0,5	859,28	<b>0,018</b>	0,4	4707,47	<b>0,003</b>
3	7507,57	3,23	0,5	-1979,41	<b>-0,006</b>	0,4	3492,92	<b>0,003</b>
4	7507,54	3,23	0,6	-1969,34	<b>-0,007</b>	0,5	3260	<b>0,004</b>
5	7507,54	3,23	0,6	-1921,76	<b>-0,007</b>	0,4	2864,99	<b>0,003</b>
6	7507,57	3,23	0,4	-1752,47	<b>-0,005</b>	0,4	2338,91	<b>0,004</b>
7	7490,83	3,23	0,4	-1554,78	<b>-0,006</b>	0,2	1675,99	<b>0,003</b>
8	9994,97	3,23	0,2	-895,92	<b>-0,007</b>	0,2	1306,98	<b>0,005</b>

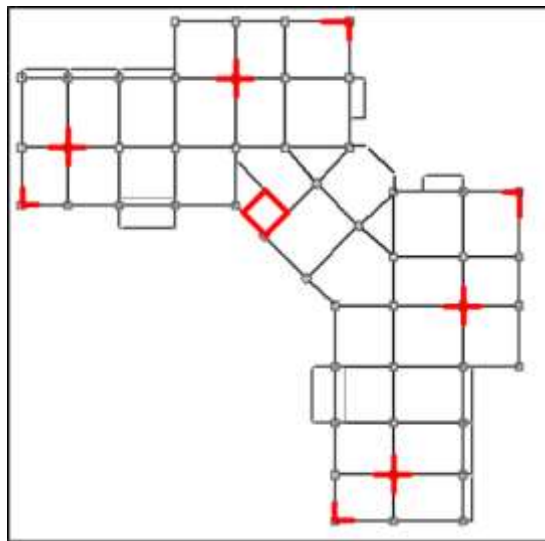
**Tableau III.29** : Vérification vis-à-vis P-Δ V4  
(Analyse linéaire)

g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :

Nœuds	Les barres	V <sub>x</sub> [KN]	V <sub>y</sub> [KN]
<b>180</b>	Poteau 201	48,47	19,42
	Poutre 231	21,22	3,20
	// 232	14,54	16,47
	// 276	27,83	7,52
	// 277	44,89	6,94
<b>67931</b>	Poteau 2621	45,57	43,81
	Poutre 2675	3,49	2,73
	// 2676	5,11	0,76
	// 2699	2,29	1,41
	// 2726	5,14	0,43
<b>81056</b>	Poteau 2954	54,67	25,00
	Poutre 3015	4,77	1,31
	// 3016	4,68	1,14
	// 3036	2,46	1,26

**Tableau III.30** : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V4 (Analyse linéaire)

III.2.1.2.5.Variante 5 :



Variante 5

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1,05
2	0,98
3	0,90

Tableau III.31 : La période fondamentale V5  
(Analyse linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	42,37	1,05	0
2	1,67	67,88	0
3	33,54	8,36	0

Tableau III.32 : La masse modale V5  
(Analyse linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0,4	0,3	0,4	0,3
2	0,5	0,5	0,9	0,8
3	0,6	0,4	1,5	1,2
4	0,5	0,5	2,0	1,7
5	0,5	0,4	2,5	2,1
6	0,3	0,4	2,8	2,5
7	0,4	0,3	3,2	2,8
8	0,2	0,2	3,4	3,0

**Tableau III.33** : Le déplacement des étages V5  
(Analyse linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	60,00	40,00	66,81	33,19
2	45,51	54,49	53,73	46,27
3	40,55	59,45	47,04	52,96
4	36,48	63,52	41,84	58,16
5	33,70	66,30	38,06	61,94
6	30,35	69,65	34,18	65,82
7	25,55	74,45	27,07	72,93
8	12,76	87,24	15,98	84,02

**Tableau III.34** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V5 (Analyse linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 4789.87 \text{ KN} \\ V_y = 5138.46 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$  :

➤ Article 5.9 RPA2003

$$\theta = P_k \cdot \Delta_k / V_k \cdot h_k \leq 0.10$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Etage	$P_k$ [KN]	$h_k$ [m]	Sens-X			Sens-Y		
			$\Delta_{rk}$ [cm]	$V_k$ [KN]	$\theta_x$	$\Delta_{rk}$ [cm]	$V_k$ [KN]	$\theta_y$
1	10993,87	4,08	0,4	897,01	<b>0,012</b>	0,3	4970,04	<b>0,002</b>
2	9995,58	3,23	0,5	-407,95	<b>-0,038</b>	0,5	4858,53	<b>0,003</b>
3	9995,58	3,23	0,5	-808,29	<b>-0,019</b>	0,4	4579,27	<b>0,003</b>
4	9995,58	3,23	0,5	-1042,62	<b>-0,015</b>	0,5	4107,35	<b>0,004</b>
5	9995,58	3,23	0,5	-1091,63	<b>-0,014</b>	0,4	3577,34	<b>0,003</b>
6	9995,58	3,23	0,3	-1080,76	<b>-0,009</b>	0,4	2940,34	<b>0,004</b>
7	8154,32	3,23	0,4	-997,63	<b>-0,010</b>	0,3	2214,12	<b>0,003</b>
8	10525,61	3,23	0,2	-1100,80	<b>-0,006</b>	0,2	1614,65	<b>0,004</b>

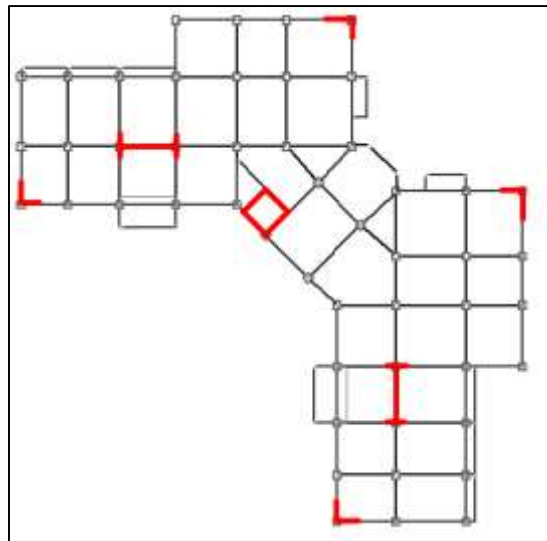
**Tableau III.35 : Vérification vis-à-vis P- $\Delta$  V5**  
(Analyse linéaire)

g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :

Nœuds	Les barres	$V_x$ [KN]	$V_y$ [KN]
<b>180</b>	Poteau 201	41,95	63,28
	Poutre 231	25,04	2,12
	// 232	21,56	1,03
	// 276	6,87	0,88
	// 277	6,25	1,49
<b>67931</b>	Poteau 2621	12,96	49,17
	Poutre 2675	12,66	12,22
	// 2676	6,93	1,65
	// 2699	14,09	9,36
	// 2726	34,07	6,07
<b>81056</b>	Poteau 2954	58,64	36,86
	Poutre 3015	6,21	1,29
	// 3016	13,83	0,76
	// 3036	1,70	1,21

**Tableau III.36 : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V5** (Analyse linéaire)

III.2.1.2.6.Variante 6 :



Variante 6

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1,07
2	0,92
3	0,83

Tableau III.37 : La période fondamentale V6  
(Analyse linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	17,86	7,98	0
2	29,85	46,23	0
3	28,61	21,59	0

Tableau III.38 : La masse modale V6  
(Analyse linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0,3	0,3	0,3	0,3
2	0,4	0,3	0,7	0,6
3	0,4	0,4	1,1	1,0
4	0,5	0,3	1,6	1,3
5	0,3	0,4	1,9	1,7
6	0,3	0,3	2,2	2,0
7	0,3	0,2	2,5	2,2
8	0,2	0,2	2,7	2,4

**Tableau III.39** : Le déplacement des étages **V6**  
(Analyse linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	69,34	30,66	74,37	25,63
2	55,84	44,16	62,02	37,98
3	49,97	50,03	55,10	44,90
4	44,60	55,40	49,30	50,70
5	39,36	60,64	43,46	56,54
6	32,51	67,49	35,75	64,25
7	20,73	79,27	22,13	77,87
8	18,19	81,81	21,09	78,91

**Tableau III.40** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux **V6** (Analyse linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 4828.79 \text{ KN} \\ V_y = 4917.06 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$  :

➤ Article 5.9 RPA2003

$$\theta = P_k \cdot \Delta_k / V_k \cdot h_k \leq 0.10$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Etage	$P_k$ [KN]	$h_k$ [m]	Sens-X			Sens-Y		
			$\Delta_{rk}$ [cm]	$V_k$ [KN]	$\theta_x$	$\Delta_{rk}$ [cm]	$V_k$ [KN]	$\theta_y$
<b>1</b>	11003,73	4,08	0,3	1632,10	<b>0,005</b>	0,3	4312,76	<b>0,002</b>
<b>2</b>	9994,93	3,23	0,4	507,72	<b>0,024</b>	0,3	4374,90	<b>0,002</b>
<b>3</b>	9994,93	3,23	0,4	-2,83	<b>-4,374</b>	0,4	4169,98	<b>0,003</b>
<b>4</b>	9994,93	3,23	0,5	-407,31	<b>-0,038</b>	0,3	3787,39	<b>0,002</b>
<b>5</b>	9994,93	3,23	0,3	-699,68	<b>-0,013</b>	0,4	3287,88	<b>0,004</b>
<b>6</b>	9994,93	3,23	0,3	-939,29	<b>-0,010</b>	0,3	2664,03	<b>0,003</b>
<b>7</b>	9994,93	3,23	0,3	-1145,95	<b>-0,008</b>	0,2	1919,82	<b>0,003</b>
<b>8</b>	10536,76	3,23	0,2	-1068,46	<b>-0,006</b>	0,2	1750,25	<b>0,004</b>

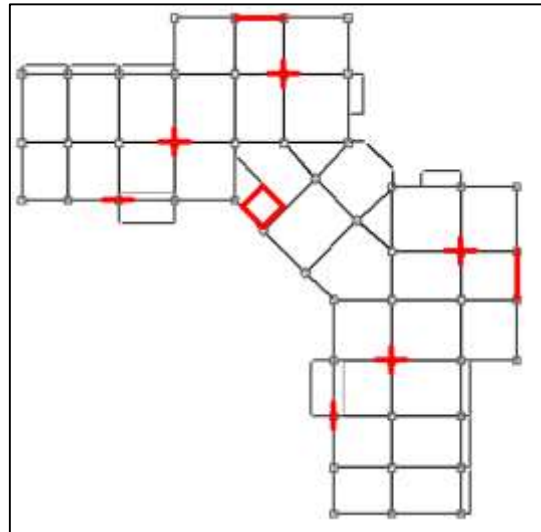
**Tableau III.41 : Vérification vis-à-vis P- $\Delta$  V6**  
(Analyse linéaire)

g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :

Nœuds	Les barres	$V_x$ [KN]	$V_y$ [KN]
<b>180</b>	Poteau 201	54,62	56,27
	Poutre 231	28,78	1,65
	// 232	24,00	0,99
	// 276	8,41	1,38
	// 277	11,78	1,88
<b>67931</b>	Poteau 2621	57,22	35,91
	Poutre 2675	11,89	9,30
	// 2676	13,97	1,53
	// 2699	14,32	9,26
	// 2726	36,34	5,43
<b>81056</b>	Poteau 2954	57,58	23,52
	Poutre 3015	6,99	1,14
	// 3016	11,26	0,57
	// 3036	1,29	0,52

**Tableau III.42 : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V6** (Analyse linéaire)

III.2.1.2.7.Variante 7 :



Variante 7

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1,07
2	0,93
3	0,77

Tableau III.43 : La période fondamentale V7  
(Analyse linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	41,28	5,94	0
2	16,63	56,73	0
3	18,24	12,48	0

Tableau III.44 : La masse modale V7  
(Analyse linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0,4	0,3	0,4	0,3
2	0,5	0,4	0,9	0,7
3	0,5	0,5	1,4	1,2
4	0,6	0,4	2,0	1,6
5	0,5	0,4	2,5	2,0
6	0,4	0,3	2,9	2,3
7	0,4	0,2	3,3	2,5
8	0,2	0,2	3,5	2,7

**Tableau III.45** : Le déplacement des étages V7  
(Analyse linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	64,97	35,03	74,14	25,86
2	50,38	49,62	59,17	40,83
3	45,14	54,86	52,20	47,80
4	40,28	59,72	46,44	53,56
5	36,60	63,40	42,00	58,00
6	32,21	67,79	37,13	62,87
7	25,42	74,58	29,42	70,58
8	12,76	87,24	16,49	83,51

**Tableau III.46** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V7 (Analyse linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 4091.80 \text{ KN} \\ V_y = 4251.72 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$  :

➤ Article 5.9 RPA2003

$$\theta = P_k \cdot \Delta_k / V_k \cdot h_k \leq 0.10$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Etage	P <sub>k</sub> [KN]	h <sub>k</sub> [m]	Sens-X			Sens-Y		
			Δ <sub>rk</sub> [cm]	V <sub>k</sub> [KN]	θ <sub>x</sub>	Δ <sub>rk</sub> [cm]	V <sub>k</sub> [KN]	θ <sub>y</sub>
1	10994,67	4,08	0,4	715,33	<b>0,015</b>	0,3	3892,57	<b>0,002</b>
2	8154,81	3,23	0,5	-348,71	<b>-0,036</b>	0,4	3971,22	<b>0,003</b>
3	8154,81	3,23	0,5	-642,52	<b>-0,020</b>	0,5	3850,42	<b>0,003</b>
4	8154,81	3,23	0,6	-861,57	<b>-0,018</b>	0,4	3552,87	<b>0,003</b>
5	8154,81	3,23	0,5	-942,99	<b>-0,013</b>	0,4	3142,86	<b>0,003</b>
6	8154,81	3,23	0,4	-963,05	<b>-0,010</b>	0,3	2631,74	<b>0,003</b>
7	9996,07	3,23	0,4	-1034,05	<b>-0,012</b>	0,2	1971,65	<b>0,003</b>
8	10537,89	3,23	0,2	-1085,52	<b>-0,006</b>	0,2	1581,11	<b>0,004</b>

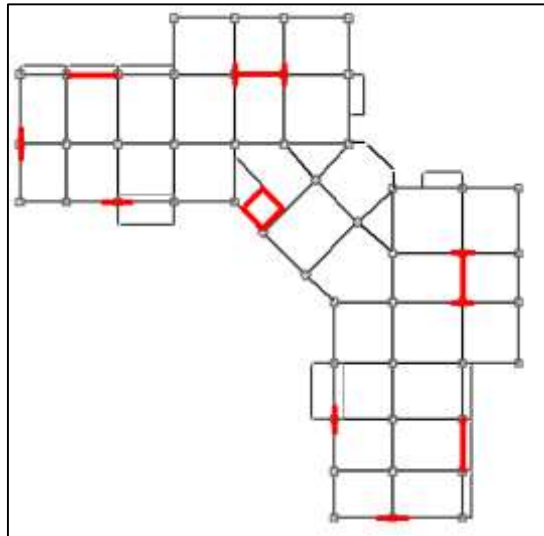
**Tableau III.47 : Vérification vis-à-vis P-Δ V7**  
(Analyse linéaire)

**g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :**

Nœuds	Les barres	V <sub>x</sub> [KN]	V <sub>y</sub> [KN]
<b>180</b>	Poteau 201	37,32	51,77
	Poutre 231	25,52	1,34
	// 232	22,71	2,12
	// 276	4,74	2,15
	// 277	5,44	1,11
<b>67931</b>	Poteau 2621	37,94	38,60
	Poutre 2675	20,53	3,86
	// 2676	15,78	1,85
	// 2699	7,05	2,17
	// 2726	13,41	0,41
<b>81056</b>	Poteau 2954	57,96	22,91
	Poutre 3015	4,12	2,03
	// 3016	6,41	1,83
	// 3036	0,55	1,50

**Tableau III.48 : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V7** (Analyse linéaire)

III.2.1.2.8.Variante 8 :



Variante 8

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1,07
2	0,88
3	0,73

Tableau III.49 : La période fondamentale V8  
(Analyse linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	18,24	12,49	0
2	22,35	51,32	0
3	19,53	14,82	0

Tableau III.50 : La masse modale V8  
(Analyse linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0,4	0,3	0,4	0,3
2	0,4	0,3	0,8	0,6
3	0,5	0,4	1,3	1,0
4	0,5	0,4	1,8	1,4
5	0,4	0,3	2,2	1,7
6	0,4	0,3	2,6	2,0
7	0,3	0,2	2,9	2,2
8	0,3	0,2	3,2	2,4

**Tableau III.51** : Le déplacement des étages **V8**  
(Analyse linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	64,48	35,52	75,28	24,72
2	52,26	47,74	62,99	37,01
3	48,06	51,94	57,10	42,90
4	43,79	56,21	52,04	47,96
5	40,27	59,73	46,84	53,16
6	36,19	63,81	40,13	59,87
7	26,93	73,07	26,96	73,04
8	18,62	81,38	22,37	77,63

**Tableau III.52** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux **V8** (Analyse linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 4165.03 \text{ KN} \\ V_y = 4232.99 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Vérification vis-à-vis P- $\Delta$  :

➤ Article 5.9 RPA2003

$$\theta = P_k \cdot \Delta_k / V_k \cdot h_k \leq 0.10$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Etage	P <sub>k</sub> [KN]	h <sub>k</sub> [m]	Sens-X			Sens-Y		
			Δ <sub>rk</sub> [cm]	V <sub>k</sub> [KN]	θ <sub>x</sub>	Δ <sub>rk</sub> [cm]	V <sub>k</sub> [KN]	θ <sub>y</sub>
1	11014,40	4,08	0,4	1011,79	<b>0,011</b>	0,3	3829,93	<b>0,002</b>
2	8151,91	3,23	0,4	159,84	<b>0,063</b>	0,3	3795,44	<b>0,002</b>
3	8151,91	3,23	0,5	-131,12	<b>-0,096</b>	0,4	3651,84	<b>0,003</b>
4	8151,91	3,23	0,5	-388,21	<b>-0,033</b>	0,4	3371,23	<b>0,003</b>
5	8091,23	3,23	0,4	-545,84	<b>-0,018</b>	0,3	2982,37	<b>0,003</b>
6	8151,91	3,23	0,4	-662,38	<b>-0,015</b>	0,3	2484,73	<b>0,003</b>
7	9993,17	3,23	0,3	-861,03	<b>-0,011</b>	0,2	1809,64	<b>0,003</b>
8	10535,06	3,23	0,3	-981,53	<b>-0,010</b>	0,2	1677,34	<b>0,004</b>

**Tableau III.53 : Vérification vis-à-vis P-Δ V8**  
(Analyse linéaire)

**g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :**

Nœuds	Les barres	V <sub>x</sub> [KN]	V <sub>y</sub> [KN]
<b>180</b>	Poteau 201	50,05	38,41
	Poutre 231	29,01	2,25
	// 232	25,43	3,96
	// 276	4,20	3,52
	// 277	5,42	2,63
<b>67931</b>	Poteau 2621	52,34	28,90
	Poutre 2675	14,90	2,28
	// 2676	11,97	1,32
	// 2699	6,01	2,13
	// 2726	11,78	0,66
<b>81056</b>	Poteau 2954	38,28	19,87
	Poutre 3015	5,67	1,27
	// 3016	4,98	1,95
	// 3036	2,49	1,66

**Tableau III.54 : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V8** (Analyse linéaire)

III.2.2. Résultats d'analyse non linéaire :

III.2.2.1. La structure sans voiles de contreventement :

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1,29
2	1,26
3	1,16

**Tableau III.55** : La période fondamentale de la structure sans voiles de contreventement (Analyse non-linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	20,05	25,63	0
2	45,53	38,13	0
3	18,32	20,14	0

**Tableau III.56** : La masse modale de la structure sans voiles de contreventement (Analyse non-linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0,6	0,6	0,6	0,6
2	0,7	0,8	1,3	1,4
3	0,7	0,6	2,0	2,0
4	0,7	0,7	2,7	2,7
5	0,5	0,5	3,2	3,2
6	0,4	0,5	3,6	3,7
7	0,3	0,3	3,9	4,0
8	0,2	0,2	4,1	4,2

**Tableau III.57** : Le déplacement des étages, structure sans voiles de contreventement (Analyse non-linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [KN]	$F_x$ sur les poteaux [KN]	$F_y$ sur les voiles [KN]	$F_y$ sur les poteaux [KN]
1	0,0	-3999,58	0,0	3630,61
2	0,0	-3868,34	0,0	3549,14
3	0,0	-3613,92	0,0	3389,04
4	0,0	-3236,44	0,0	3027,31
5	0,0	-2744,77	0,0	2569,77
6	0,0	-2154,84	0,0	2018,64
7	0,0	-1486,13	0,0	1395,29
8	0,0	-762,13	0,0	715,16

**Tableau III.58** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, structure sans voiles de contreventement (Analyse non-linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 3991,49 \text{ KN} \\ V_y = 3972,46 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :

Nœuds	Les barres	$V_x$ [KN]	$V_y$ [KN]
180	Poteau 201	52,69	95,26
	Poutre 231	1,16	0,27
	// 232	3,09	0,69
	// 276	2,58	0,17
	// 277	2,59	0,12
67931	Poteau 2621	19,86	55,90
	Poutre 2675	1,20	1,64
	// 2676	4,67	0,47
	// 2699	0,91	0,99
	// 2726	2,47	0,33
81056	Poteau 2954	25,87	30,85
	Poutre 3015	1,80	1,45
	// 3016	10,28	1,00
	// 3036	1,15	1,40

**Tableau III.59** : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres, structure sans voiles de contreventement (Analyse non-linéaire)

III.2.2.2. Etude des variantes :

III.2.2.2.1. Variante 1 :

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1.07
2	1.02
3	0.95

**Tableau III.60** : La période fondamentale V1  
(Analyse non-linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	46.79	1.26	0
2	0.83	63.78	0
3	26.26	8.63	0

**Tableau III.61** : La masse modale V1  
(Analyse non-linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0.3	0.2	0.3	0.2
2	0.4	0.3	0.7	0.5
3	0.6	0.5	1.3	1.0
4	0.6	0.5	1.9	1.5
5	0.6	0.5	2.5	2.0
6	0.5	0.5	3.0	2.5
7	0.3	0.3	3.3	2.8
8	0.2	0.2	3.5	3.0

**Tableau III.62** : Le déplacement des étages V1  
(Analyse non-linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	64,29	35,71	68,70	31,30
2	49,69	50,31	55,31	44,69
3	20,20	79,80	25,22	74,78
4	17,99	82,00	22,17	77,83
5	13,75	86,25	15,54	84,46
6	10,41	89,59	13,23	86,77
7	1,79	98,21	2,79	97,21
8	21,41	78,59	24,09	75,91

**Tableau III.63** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux **V1** (Analyse non-linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 3991,30 \text{ KN} \\ V_y = 4265,22 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :

Nœuds	Les barres	$V_x$ [KN]	$V_y$ [KN]
180	Poteau 201	44,48	63,22
	Poutre 231	25,24	2,00
	// 232	21,70	13,50
	// 276	7,25	0,81
	// 277	6,44	1,34
67931	Poteau 2621	21,10	48,43
	Poutre 2675	12,20	12,29
	// 2676	7,20	1,68
	// 2699	13,45	9,42
	// 2726	33,71	6,10
81056	Poteau 2954	57,42	38,09
	Poutre 3015	5,68	1,28
	// 3016	12,09	0,56
	// 3036	1,52	0,89

**Tableau III.64** : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres **V1** (Analyse non-linéaire)

III.2.2.2.2. Variante 2 :

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1.07
2	0.99
3	0.88

**Tableau III.65** : La période fondamentale V2  
(Analyse non-linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	42.42	2.36	0
2	9.93	57.70	0
3	19.28	10.74	0

**Tableau III.66** : La masse modale V2  
(Analyse non-linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0.3	0.2	0.3	0.2
2	0.3	0.3	0.6	0.5
3	0.6	0.4	1.2	0.9
4	0.7	0.6	1.9	1.5
5	0.6	0.5	2.5	2.0
6	0.5	0.4	3.0	2.4
7	0.4	0.3	3.4	2.7
8	0.2	0.3	3.6	3.0

**Tableau III.67** : Le déplacement des étages V2  
(Analyse non-linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	67,79	32,21	75,66	24,34
2	57,57	42,43	67,88	32,12
3	19,61	80,39	21,41	78,59
4	17,10	82,90	19,42	80,58
5	14,22	85,78	17,25	82,75
6	10,82	89,18	15,10	84,90
7	1,34	98,66	1,61	98,39
8	20,52	79,48	23,11	76,89

**Tableau III.68** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux **V2** (Analyse non-linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 3705.52 \text{ KN} \\ V_y = 3966.46 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :

Nœuds	Les barres	$V_x$ [KN]	$V_y$ [KN]
<b>180</b>	Poteau 201	47.45	29.91
	Poutre 231	9.45	2.33
	// 232	16.52	15.80
	// 276	30.88	7.14
	// 277	39.65	4.45
<b>67931</b>	Poteau 2621	36.07	45.48
	Poutre 2675	11.72	1.18
	// 2676	11.75	1.26
	// 2699	0.78	0.55
	// 2726	1.73	0.17
<b>81056</b>	Poteau 2954	48.88	30.31
	Poutre 3015	4.99	1.57
	// 3016	4.37	0.77
	// 3036	2.27	1.47

**Tableau III.69** : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres **V2** (Analyse non-linéaire)

III.2.2.2.3. Variante 3 :

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1.14
2	1.05
3	1.00

**Tableau III.70** : La période fondamentale V3  
(Analyse non-linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	24.36	0.95	0
2	8.51	57.44	0
3	42.57	16.82	0

**Tableau III.71** : La masse modale V3  
(Analyse non-linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0.3	0.3	0.3	0.3
2	0.5	0.3	0.8	0.6
3	0.5	0.5	1.3	1.1
4	0.5	0.5	1.8	1.6
5	0.4	0.5	2.2	2.1
6	0.4	0.4	2.6	2.5
7	0.3	0.3	2.9	2.8
8	0.2	0.3	3.1	3.1

**Tableau III.72** : Le déplacement des étages V3  
(Analyse non-linéaire)

## d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	57,21	42,79	63,02	36,98
2	48,58	51,42	55,14	44,86
3	21,62	78,38	27,00	73,00
4	16,91	83,09	20,87	79,13
5	13,55	86,45	14,33	85,67
6	9,50	90,50	11,79	88,21
7	4,05	95,95	4,72	95,28
8	21,86	78,14	24,53	75,47

**Tableau III.73** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux **V3** (Analyse non-linéaire)

## e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 4245,39 \text{ KN} \\ V_y = 4380,18 \text{ KN} \end{cases}$$

## f. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :

Nœuds	Les barres	$V_x$ [KN]	$V_y$ [KN]
180	Poteau 201	48,96	64,98
	Poutre 231	4,21	0,28
	// 232	11,15	1,92
	// 276	5,32	1,06
	// 277	10,32	0,62
67931	Poteau 2621	22,88	52,90
	Poutre 2675	10,51	9,24
	// 2676	8,25	1,10
	// 2699	10,34	5,78
	// 2726	26,88	4,75
81056	Poteau 2954	31,31	30,38
	Poutre 3015	4,84	0,94
	// 3016	3,53	0,37
	// 3036	1,75	0,49

**Tableau III.74** : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres **V3** (Analyse non-linéaire)

III.2.2.2.4. Variante 4 :

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1,08
2	0,93
3	0,84

**Tableau III.75** : La période fondamentale V4  
(Analyse non-linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	36,51	0,00	0
2	1,53	65,38	0
3	31,46	3,56	0

**Tableau III.76** : La masse modale V4  
(Analyse non-linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0,3	0,2	0,3	0,2
2	0,5	0,4	0,8	0,6
3	0,5	0,4	1,3	1,0
4	0,6	0,5	1,9	1,5
5	0,6	0,4	2,5	1,9
6	0,4	0,4	2,9	2,3
7	0,4	0,2	3,3	2,5
8	0,2	0,2	3,5	2,7

**Tableau III.77** : Le déplacement des étages V4  
(Analyse non-linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	67,38	32,62	76,91	23,09
2	61,00	39,00	72,66	27,34
3	19,29	80,71	19,65	80,35
4	17,34	82,66	19,15	80,85
5	13,63	86,37	15,68	84,32
6	9,33	90,67	11,01	88,99
7	0,82	99,18	1,94	98,06
8	16,01	83,99	13,48	86,52

**Tableau III.78** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux **V4** (Analyse non-linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 3699,41 \text{ KN} \\ V_y = 3946,90 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :

Nœuds	Les barres	$V_x$ [KN]	$V_y$ [KN]
180	Poteau 201	42,37	19,16
	Poutre 231	22,39	2,52
	// 232	14,94	15,60
	// 276	19,03	6,70
	// 277	33,98	6,67
67931	Poteau 2621	28,51	45,79
	Poutre 2675	7,48	4,76
	// 2676	8,66	1,18
	// 2699	2,37	2,43
	// 2726	5,80	0,60
81056	Poteau 2954	50,08	26,67
	Poutre 3015	3,99	2,13
	// 3016	4,59	1,74
	// 3036	0,53	0,84

**Tableau III.79** : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres **V4** (Analyse non-linéaire)

III.2.2.2.5. Variante 5 :

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1,06
2	1,01
3	0,93

**Tableau III.80** : La période fondamentale V5  
(Analyse non-linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	40,38	0,03	0
2	8,22	62,55	0
3	29,31	14,96	0

**Tableau III.81** : La masse modale V5  
(Analyse non-linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0,4	0,3	0,4	0,3
2	0,5	0,5	0,9	0,8
3	0,6	0,4	1,5	1,2
4	0,5	0,5	2,0	1,7
5	0,4	0,4	2,4	2,1
6	0,4	0,4	2,8	2,5
7	0,3	0,3	3,1	2,8
8	0,2	0,3	3,3	3,1

**Tableau III.82** : Le déplacement des étages V5  
(Analyse non-linéaire)

## d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	60,57	39,43	66,50	33,50
2	46,11	53,89	53,42	46,58
3	41,14	58,86	46,77	53,23
4	37,07	62,93	41,66	58,34
5	34,46	65,54	38,13	61,87
6	31,62	68,38	34,60	65,40
7	26,13	73,87	28,68	71,32
8	13,34	86,66	15,94	84,06

**Tableau III.83** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux **V5** (Analyse non-linéaire)

## e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 4891.07 \text{ KN} \\ V_y = 5145.11 \text{ KN} \end{cases}$$

## f. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :

Nœuds	Les barres	$V_x$ [KN]	$V_y$ [KN]
180	Poteau 201	44,48	63,22
	Poutre 231	25,24	2,00
	// 232	21,70	13,50
	// 276	7,25	0,81
	// 277	6,44	1,34
67931	Poteau 2621	21,10	48,43
	Poutre 2675	12,20	12,29
	// 2676	7,20	1,68
	// 2699	13,45	9,42
	// 2726	33,71	6,10
81056	Poteau 2954	57,42	38,09
	Poutre 3015	5,68	1,28
	// 3016	12,09	0,56
	// 3036	1,52	0,89

**Tableau III.84** : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres **V5** (Analyse non-linéaire)

III.2.2.2.6. Variante 6 :

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1,07
2	0,92
3	0,83

**Tableau III.85** : La période fondamentale V6  
(Analyse non-linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	17,88	7,97	0
2	29,86	46,21	0
3	28,59	21,63	0

**Tableau III.86** : La masse modale V6  
(Analyse non-linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0,3	0,3	0,3	0,3
2	0,4	0,3	0,7	0,6
3	0,5	0,4	1,2	1,0
4	0,4	0,3	1,6	1,3
5	0,3	0,4	1,9	1,7
6	0,3	0,3	2,2	2,0
7	0,3	0,2	2,5	2,2
8	0,2	0,2	2,7	2,4

**Tableau III.87** : Le déplacement des étages V6  
(Analyse non-linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	69,34	30,66	74,38	25,62
2	55,83	44,17	62,02	37,98
3	49,97	50,03	55,10	44,90
4	44,60	55,40	49,30	50,70
5	39,36	60,64	43,46	56,54
6	32,51	67,49	35,75	64,25
7	20,73	79,27	22,12	77,88
8	18,19	81,81	21,11	78,89

**Tableau III.88** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux **V6** (Analyse non-linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 4828.88 \text{ KN} \\ V_y = 4916.73 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :

Nœuds	Les barres	$V_x$ [KN]	$V_y$ [KN]
180	Poteau 201	54,62	56,26
	Poutre 231	28,78	1,65
	// 232	24,00	0,99
	// 276	8,41	1,38
	// 277	11,77	1,88
67931	Poteau 2621	57,21	35,91
	Poutre 2675	11,89	11,43
	// 2676	13,97	1,53
	// 2699	14,32	9,26
	// 2726	36,34	5,43
81056	Poteau 2954	57,59	23,52
	Poutre 3015	6,99	1,14
	// 3016	11,26	0,57
	// 3036	1,29	0,52

**Tableau III.89** : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres **V6** (Analyse non-linéaire)

III.2.2.2.7. Variante 7 :

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1,07
2	0,93
3	0,77

**Tableau III.90** : La période fondamentale V7  
(Analyse non-linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	41,30	5,93	0
2	16,62	56,74	0
3	18,24	12,49	0

**Tableau III.91** : La masse modale V7  
(Analyse non-linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0,4	0,3	0,4	0,3
2	0,5	0,4	0,9	0,7
3	0,5	0,5	1,4	1,2
4	0,6	0,4	2,0	1,6
5	0,5	0,4	2,5	2,0
6	0,4	0,3	2,9	2,3
7	0,4	0,2	3,3	2,5
8	0,2	0,2	3,5	2,7

**Tableau III.92** : Le déplacement des étages V7  
(Analyse non-linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	59,89	40,11	70,26	29,74
2	45,32	54,68	54,65	45,35
3	41,01	58,99	48,77	51,23
4	36,98	63,02	44,21	55,79
5	34,10	65,90	40,16	59,84
6	31,12	68,88	35,35	64,65
7	24,47	75,53	27,08	72,92
8	13,64	86,36	17,34	82,66

**Tableau III.93** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V7 (Analyse non-linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 4091.87 \text{ KN} \\ V_y = 4251.43 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :

Nœuds	Les barres	$V_x$ [KN]	$V_y$ [KN]
180	Poteau 201	37,32	51,77
	Poutre 231	25,52	1,34
	// 232	22,71	2,12
	// 276	4,74	2,15
	// 277	5,44	1,11
67931	Poteau 2621	37,94	38,59
	Poutre 2675	20,53	3,86
	// 2676	15,77	1,85
	// 2699	7,05	2,17
	// 2726	13,41	0,41
81056	Poteau 2954	57,95	22,90
	Poutre 3015	4,12	2,03
	// 3016	6,41	1,83
	// 3036	0,55	1,50

**Tableau III.94** : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V7 (Analyse non-linéaire)

III.2.2.2.8. Variante 8 :

a. La période fondamentale :

Mode	Période [sec]
1	1,07
2	0,88
3	0,73

**Tableau III.95** : La période fondamentale V8  
(Analyse non-linéaire)

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	UX	UY	UZ
1	33,66	8,39	0
2	22,34	51,32	0
3	19,53	14,82	0

**Tableau III.96** : La masse modale V8  
(Analyse non-linéaire)

c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y :

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	$\Delta_{rx}$	$\Delta_{ry}$	$\Delta_{Tx}$	$\Delta_{Ty}$
1	0,4	0,3	0,4	0,3
2	0,4	0,3	0,8	0,6
3	0,5	0,4	1,3	1,0
4	0,5	0,4	1,8	1,4
5	0,4	0,3	2,2	1,7
6	0,4	0,3	2,6	2,0
7	0,3	0,2	2,9	2,2
8	0,3	0,2	3,2	2,4

**Tableau III.97** : Le déplacement des étages V8  
(Analyse non-linéaire)

d. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Etage	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
1	64,48	35,52	75,28	24,72
2	52,26	47,74	62,99	37,01
3	48,05	51,95	57,10	42,90
4	43,79	56,21	52,04	47,96
5	40,27	59,73	46,84	53,16
6	36,19	63,81	40,13	59,87
7	26,93	73,07	26,96	73,04
8	18,62	81,38	22,39	77,61

**Tableau III.98** : La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux **V8** (Analyse non-linéaire)

e. La force sismique à la base :

$$\begin{cases} V_x = 4165.10 \text{ KN} \\ V_y = 4232.77 \text{ KN} \end{cases}$$

f. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :

Nœuds	Les barres	$V_x$ [KN]	$V_y$ [KN]
<b>180</b>	Poteau 201	50,03	38,41
	Poutre 231	29,01	2,25
	// 232	25,43	3,96
	// 276	4,20	3,52
	// 277	5,42	2,63
<b>67931</b>	Poteau 2621	52,33	28,90
	Poutre 2675	14,89	2,28
	// 2676	11,97	1,32
	// 2699	6,01	2,13
	// 2726	11,78	0,66
<b>81056</b>	Poteau 2954	38,28	19,87
	Poutre 3015	5,67	1,27
	// 3016	4,98	1,95
	// 3036	2,49	1,66

**Tableau III.99** : Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres **V8** (Analyse non-linéaire)



**CHAPITRE IV**  
**DISCUSSION ET**  
**INTERPRÉTATION**  
**DES RÉSULTATS**

### **Introduction :**

Dans ce chapitre nous allons d'abord récapituler les résultats obtenus pour faciliter de s'y référer, ensuite une discussion générale de l'ensemble des résultats obtenus est entretenue en commençant par la mise en évidence des apports du contreventement à la structure du bâtiment étudié, suivie d'une évaluation de l'inclusion des effets du 2<sup>ème</sup> ordre dans l'analyse, et en terminant par une comparaison entre les variantes pour montrer celle qui sont plus parasismiques que les autres.

VI.1. Récapitulation des résultats :

IV.1.1. Résultats d'analyse linéaire :

Les variantes		SV	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	
Période [sec]	Mode 1	1,29	1.07	1.07	1.14	1,08	1,05	1,07	1,07	1,07	
	Mode 2	1,26	1.02	0.99	1.05	0,93	0,98	0,92	0,93	0,88	
	Mode 3	1,16	0.95	0.88	1.00	0,84	0,90	0,83	0,77	0,73	
La masse modale [%]	Mode 1	UX	20,05	46,79	39,55	24,36	36,51	42,37	17,86	41,28	18,24
		UY	25,63	1.26	3,83	0.95	0	1,05	7,98	5,94	12,49
		UZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mode 2	UX	45,53	0,83	12,72	8,51	1,53	1,67	29,85	16,63	22,35
		UY	38,13	63,78	56,17	57,44	65,38	67,88	46,23	56,73	51,32
		UZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mode 3	UX	18,32	26,26	19,82	42,57	31,46	33,54	28,61	18,24	19,53
		UY	20,14	8,63	11,2	16,82	3,56	8,36	21,59	12,48	14,82
		UZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n° de modes pour la masse cumulée > 90%	UX	5	20	20	17	29	13	13	19	19	
	UY	5	16	19	16	29	6	13	19	19	
Déplacement relatif [cm]	E1	$\Delta_{rx}$	0,6	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
		$\Delta_{ry}$	0,6	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
	E2	$\Delta_{rx}$	0,7	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4
		$\Delta_{ry}$	0,8	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3
	E3	$\Delta_{rx}$	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5
		$\Delta_{ry}$	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4
	E4	$\Delta_{rx}$	0,7	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5
		$\Delta_{ry}$	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4
	E5	$\Delta_{rx}$	0,5	0,6	0,6	0,4	0,6	0,5	0,3	0,5	0,4
		$\Delta_{ry}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
	E6	$\Delta_{rx}$	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4
		$\Delta_{ry}$	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
	E7	$\Delta_{rx}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3
		$\Delta_{ry}$	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
	E8	$\Delta_{rx}$	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
		$\Delta_{ry}$	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Déplacement total [cm]		UX	4,1	3,5	3,6	3,1	3,5	3,4	2,7	3,5	3,2	
		UY	4,2	3,0	3,0	3,1	2,7	3,0	2,4	2,7	2,4	
Répartition des charges horizontales [%]		Sens-X	Voiles	0	64,29	68,59	57,21	67,38	60,00	69,34	64,97	64,48
			Poteaux	100	35,71	31,41	42,79	32,62	40,00	30,66	35,03	35,52
		Sens-Y	Voiles	0	68,71	76,28	63,02	76,91	66,81	74,37	74,14	75,28
			Poteaux	100	31,30	23,72	36,98	23,09	33,19	25,63	25,86	24,72
Force sismique à la base $V_t$ [KN]		Sens-X		3991,49	3991,30	3799,01	4245,39	3699,41	4789,87	4828,79	4091,80	4165,03
		Sens-Y		3972,45	4265,22	4010,27	4380,18	3946,90	5138,46	4917,06	4251,72	4232,99
Force sismique (MSE) [KN]		$V_{MSE\ x} = V_{MSE\ y}$		4355,69	3732,47	3618,16	3846,83	3390,35	3998,95	4113,46	3541,95	3539,001
		80% $V_{MSE}$		3484,56	2985,97	2894,53	3077,47	2712,28	3199,16	3290,77	2833,56	2831,20

Tableau IV.1 : Tableau récapitulatif des résultats de calcul des variantes (sans l'effet P-delta)

IV.1.1.1. Présentation des résultats en graphs :  
 a. Période :

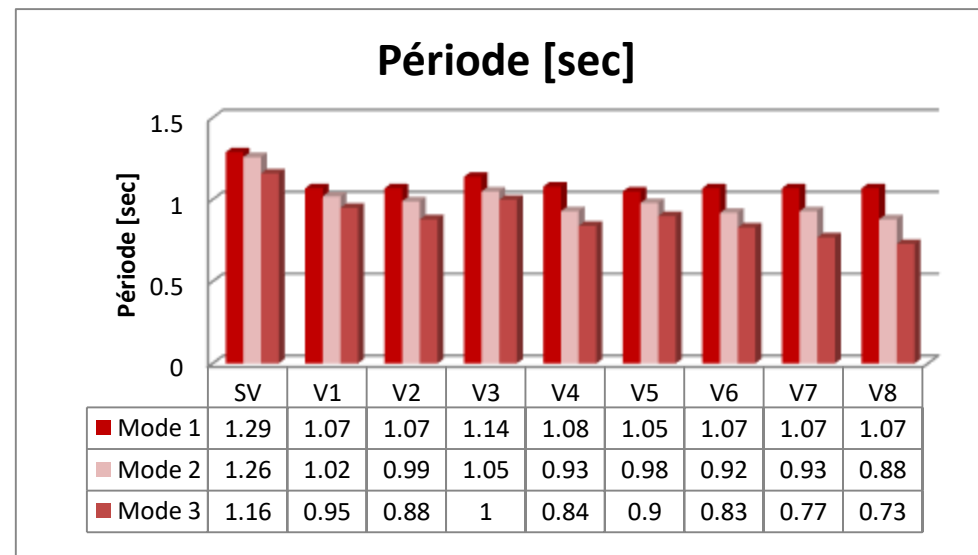
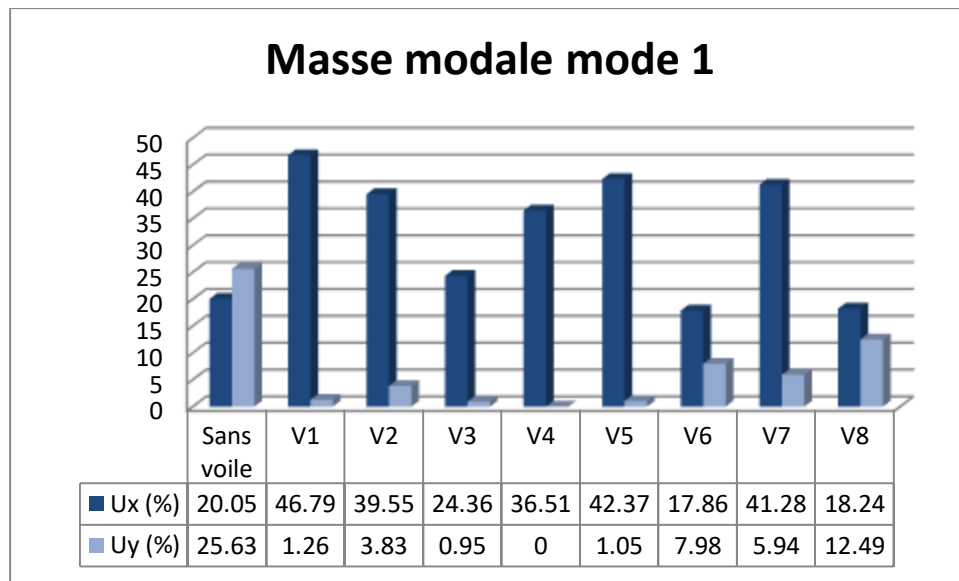
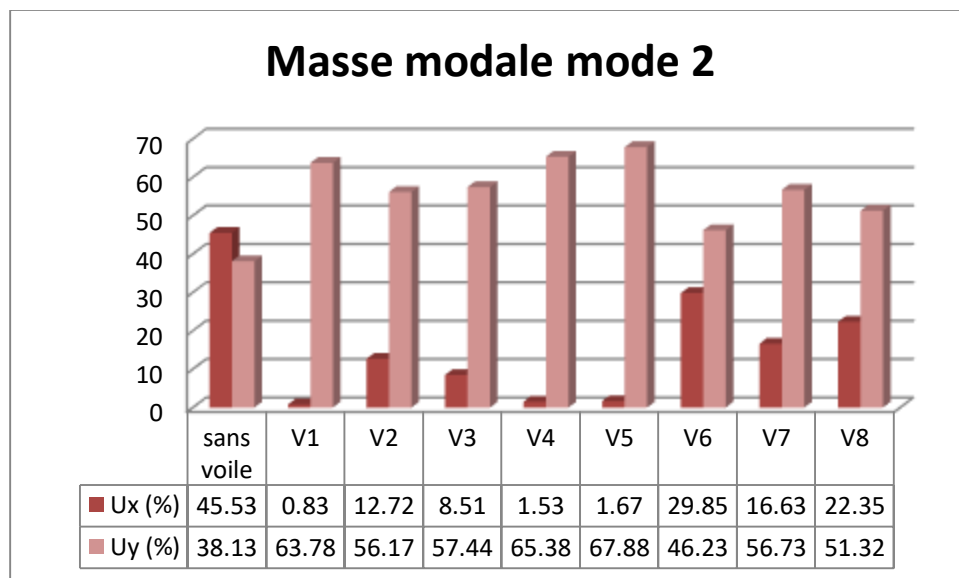


Figure IV.1 : Graphique des résultats de la période

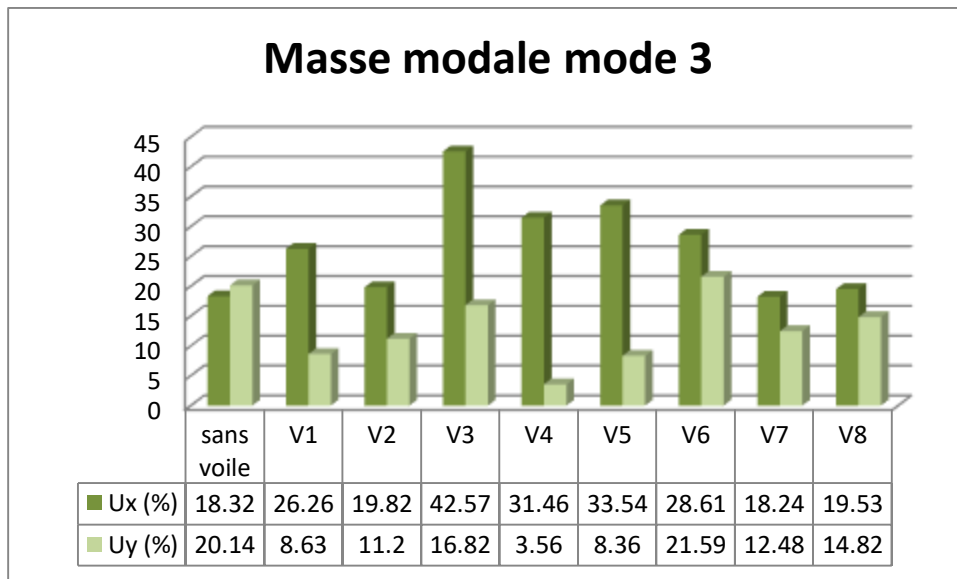
b. La masse modale :



**Figure IV.2 :** Graphique des résultats de la masse modale, Mode 1

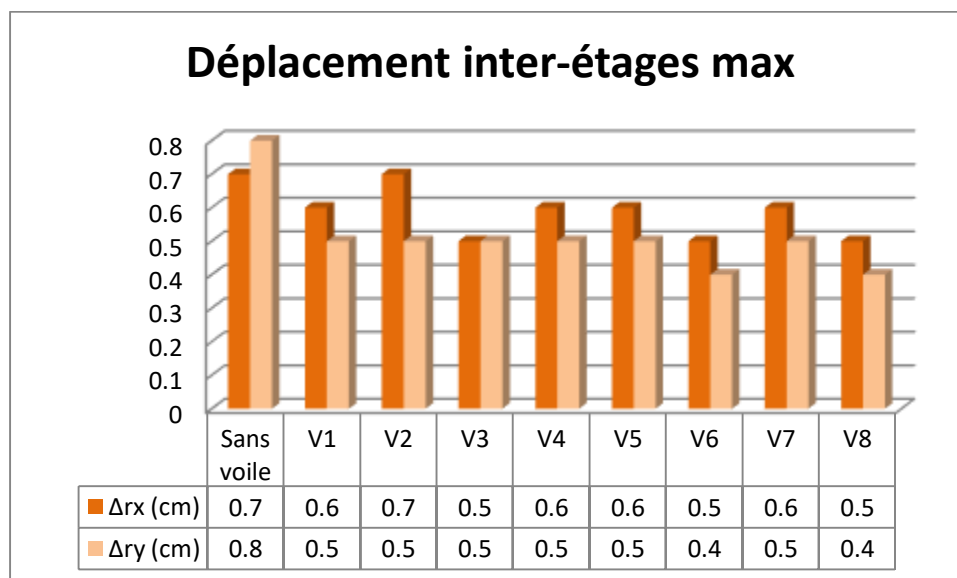


**Figure IV.3 :** Graphique des résultats de la masse modale, Mode 2



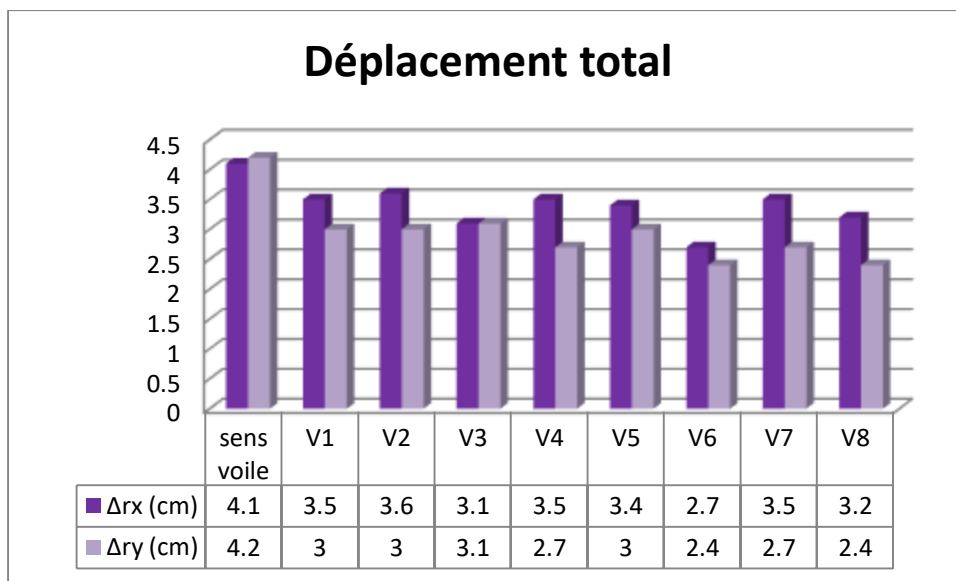
**Figure IV.4 :** Graphique des résultats de la masse modale, Mode 3

c. Déplacement inter-étages max :



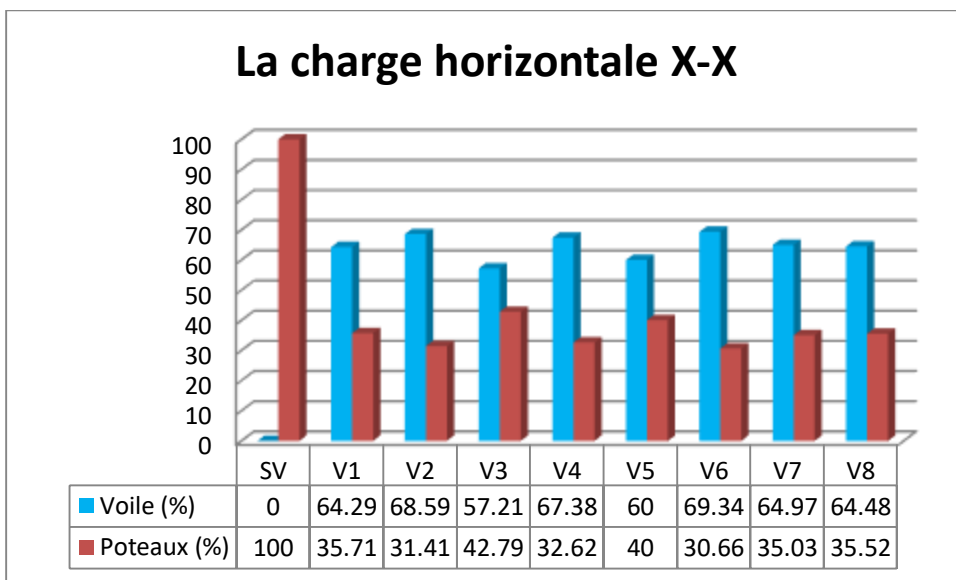
**Figure IV.5 :** Graphique des résultats de déplacement inter-étages max

d. Déplacement total :

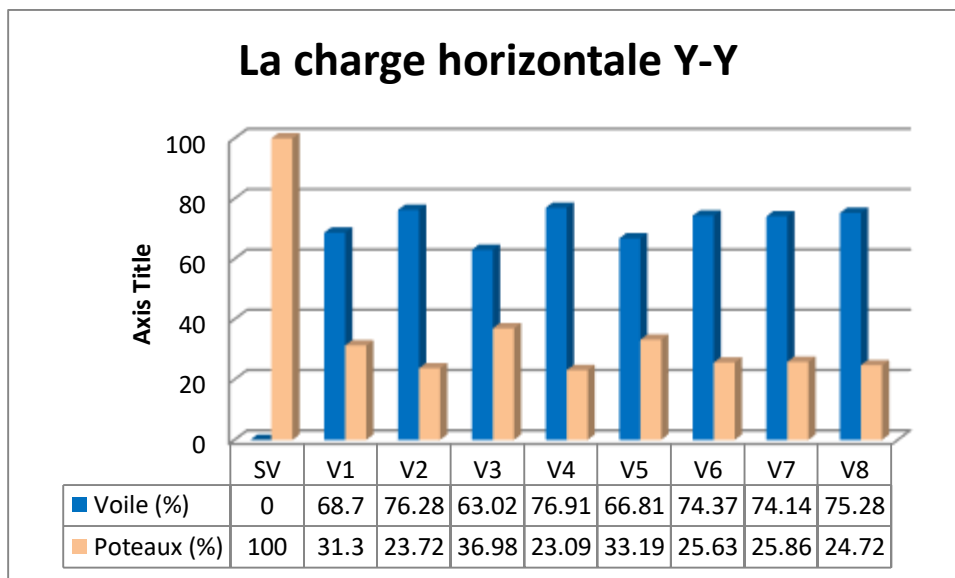


**Figure IV.6 :** Graphique des résultats de déplacement total

e. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux :

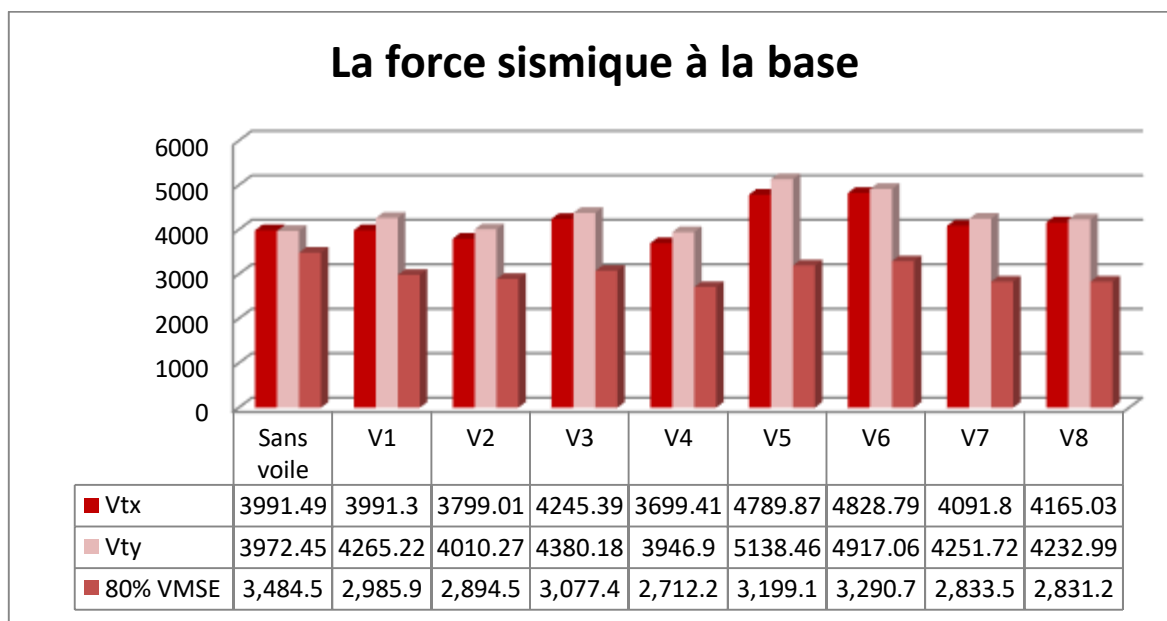


**Figure IV.7 :** Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens X-X



**Figure IV.8 :** Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens Y-Y

**f. La force sismique à la base :**



**Figure IV.9 :** Graphique des résultats de la force sismique à la base

IV.1.2. Résultats d'analyse non-linéaire :

Les variantes		SV	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	
Période [sec]	Mode 1	1,29	1.07	1.07	1.14	1,08	1,06	1,07	1,07	1,07	
	Mode 2	1,26	1.02	0.99	1.05	0,93	1,01	0,92	0,93	0,88	
	Mode 3	1,16	0.95	0.88	1.00	0,84	0,93	0,83	0,77	0,73	
La masse modale [%]	Mode 1	UX	20,05	46,79	42,42	24,36	36,51	40,38	17,88	41,30	33,66
		UY	25,63	1.26	2,36	0.95	0	0,03	7,97	5,93	8,39
		UZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mode 2	UX	45,53	0,83	9,93	8,51	1,53	8,22	29,86	16,62	22,34
		UY	38,13	63,78	57,70	57,44	65,38	62,55	46,21	56,74	51,32
		UZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mode 3	UX	18,32	26,26	19,82	42,57	31,46	29,31	28,59	18,24	19,53
		UY	20,14	8,63	10,74	16,82	3,56	14,96	21,63	12,49	14,82
		UZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n° de modes pour la masse cumulée > 90%		UX	5	20	20	17	29	13	13	19	19
		UY	5	16	19	16	29	6	13	19	19
Déplacement relatif [cm]	E1	$\Delta_{rx}$	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
		$\Delta_{ry}$	0,6	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
	E2	$\Delta_{rx}$	0,7	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4
		$\Delta_{ry}$	0,8	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3
	E3	$\Delta_{rx}$	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5
		$\Delta_{ry}$	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4
	E4	$\Delta_{rx}$	0,7	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5
		$\Delta_{ry}$	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4
	E5	$\Delta_{rx}$	0,5	0,6	0,6	0,4	0,6	0,4	0,3	0,5	0,4
		$\Delta_{ry}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
	E6	$\Delta_{rx}$	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
		$\Delta_{ry}$	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
	E7	$\Delta_{rx}$	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
		$\Delta_{ry}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
	E8	$\Delta_{rx}$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
		$\Delta_{ry}$	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2

Déplacement total [cm]		UX	4,1	3,5	3,6	3,1	3,5	3,3	2,7	3,5	3,2
		UY	4,2	3,0	3,0	3,1	2,7	3,1	2,4	2,7	2,4
Répartition des charges horizontales [%]	Sens-X	Voiles	0	64,29	67,79	57,21	67,38	60,57	69,34	59,89	64,48
		Poteaux	100	35,71	32,21	42,79	32,62	39,43	30,66	40,11	35,52
	Sens-Y	Voiles	0	68,70	75,66	63,02	76,91	66,50	74,38	70,26	75,28
		Poteaux	100	31,30	24,34	36,98	23,09	33,50	25,62	29,74	24,72
Force sismique à la base $V_t$ [KN]		Sens-X	3991,49	3991,30	3705,52	4245,39	3699,41	4891,07	4828,88	4091,87	4165,1
		Sens-Y	3972,46	4265,22	3966,46	4380,18	3946,90	5145,11	4916,73	4251,43	4232,77
Force sismique (MSE) [KN]		$V_{MSE\ x} = V_{MSE\ y}$	4355,69	3732,47	3618,16	3846,83	3390,35	3998,95	4113,46	3541,95	3539,001
		80% $V_{MSE}$	3484,56	2985,97	2894,53	3077,47	2712,28	3199,16	3290,77	2833,56	2831,20

Tableau IV.2 : Tableau récapitulatif des résultats de calcul des variantes (avec l'effet P-delta)

IV.1.2.1. Présentation des résultats en graphes :  
a. Période :

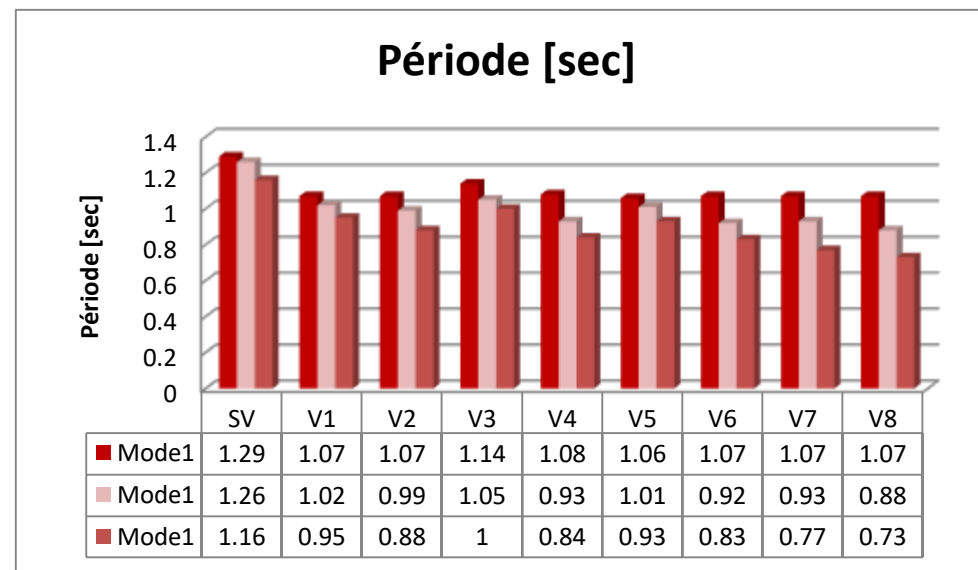
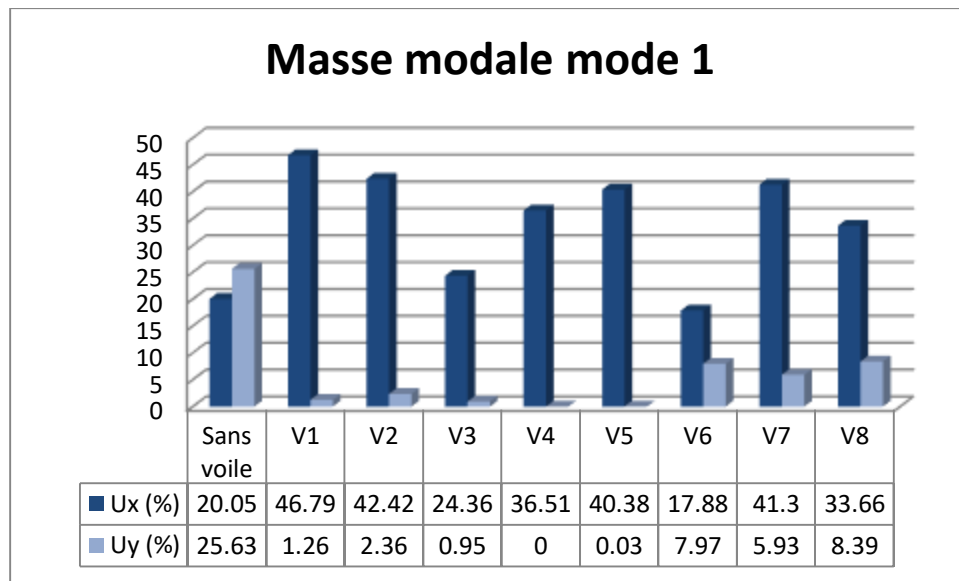
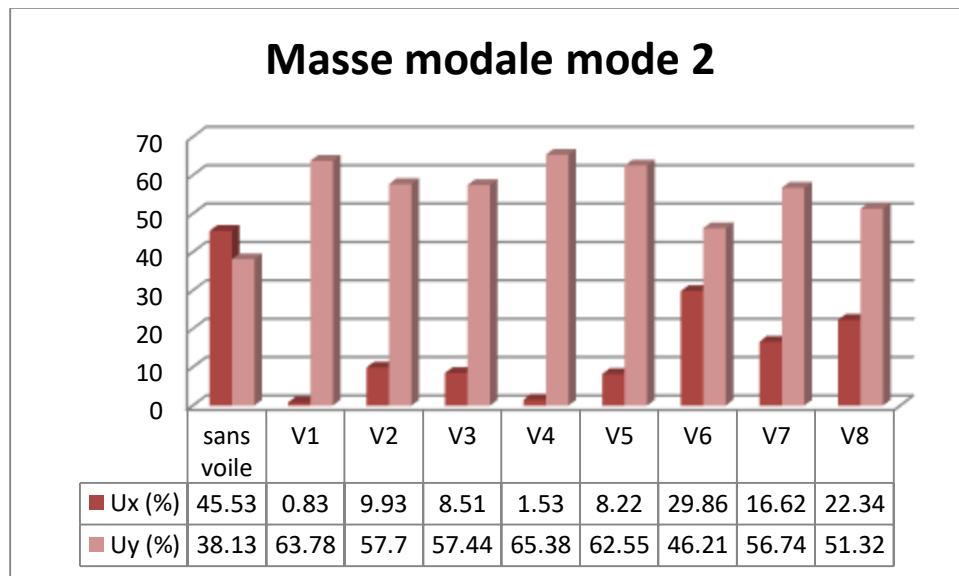


Figure IV.10 : Graphique des résultats de la période

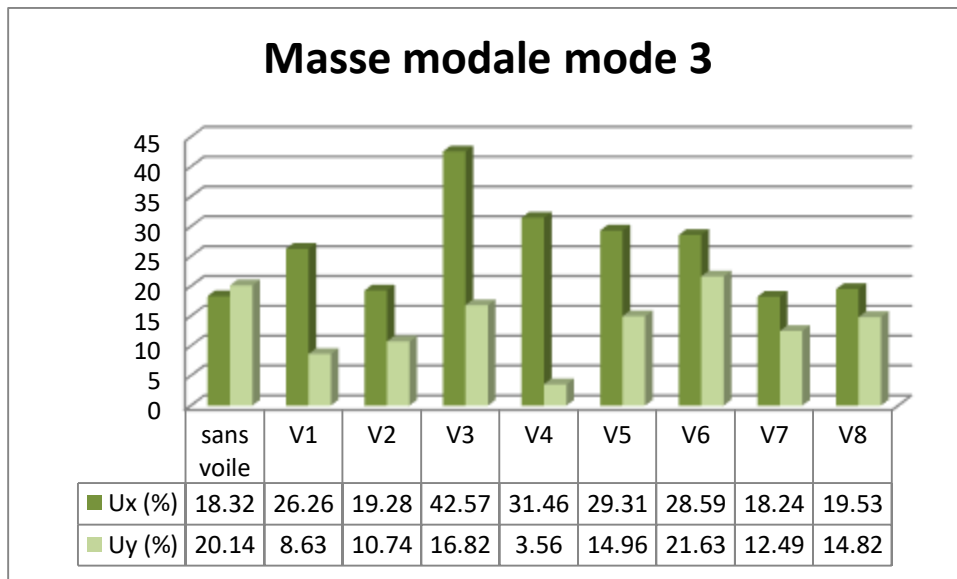
b. La masse modale :



**Figure IV.11 :** Graphique des résultats de la masse modale, Mode 1

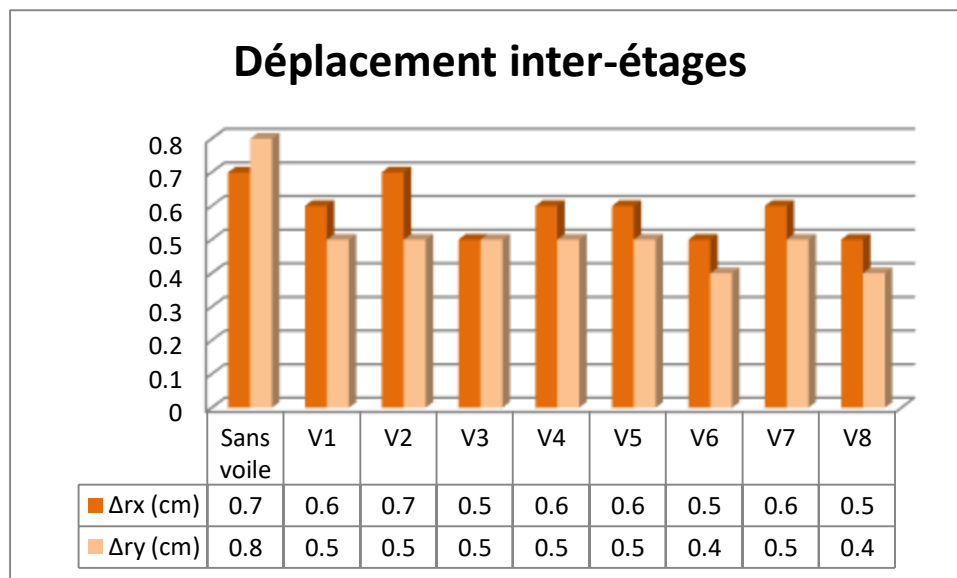


**Figure IV.12 :** Graphique des résultats de la masse modale, Mode 2



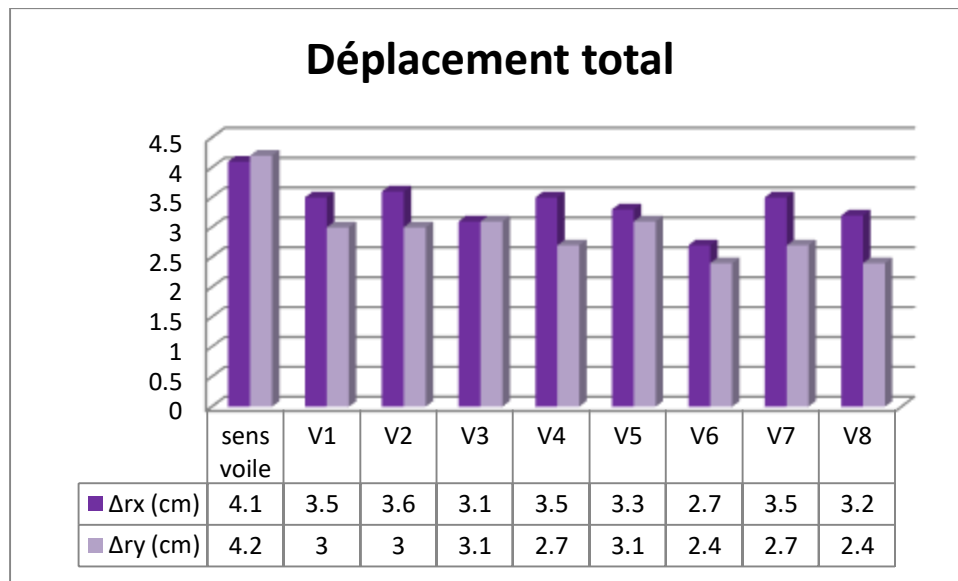
**Figure IV.13 :** Graphique des résultats de la masse modale, Mode 3

**c. Déplacement inter-étages :**



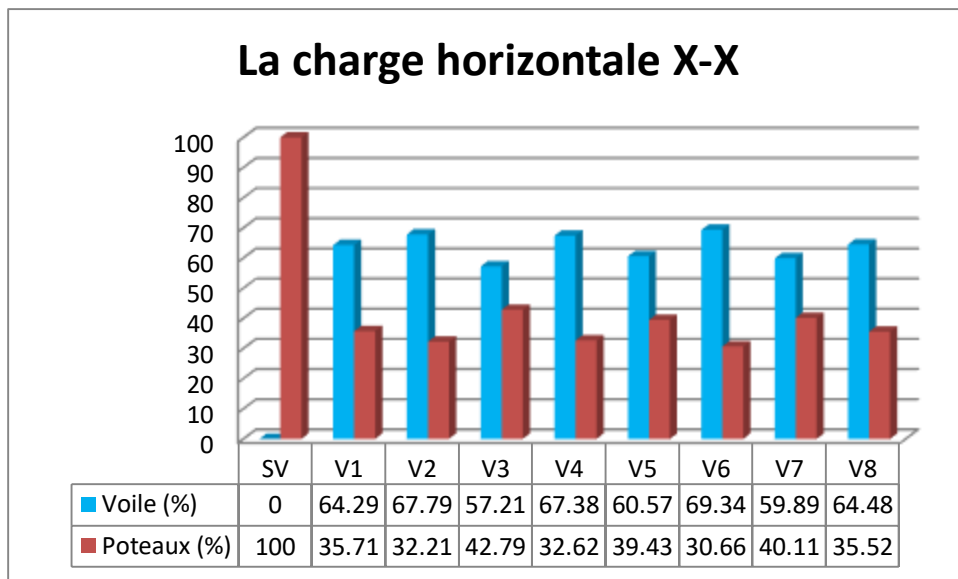
**Figure IV.14 :** Graphique des résultats de déplacement inter-étages

d. Déplacement total :

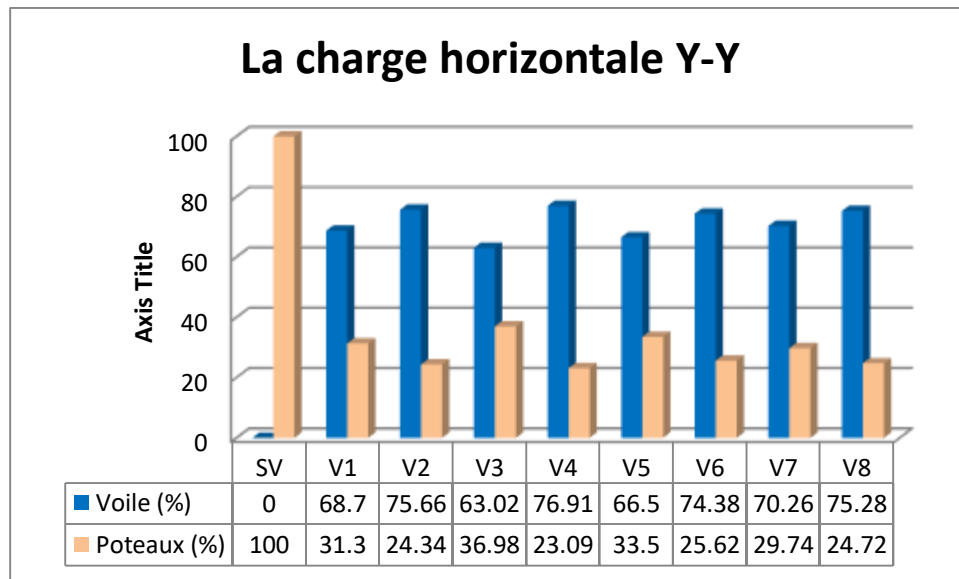


**Figure IV.15 :** Graphique des résultats de déplacement total

e. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux :

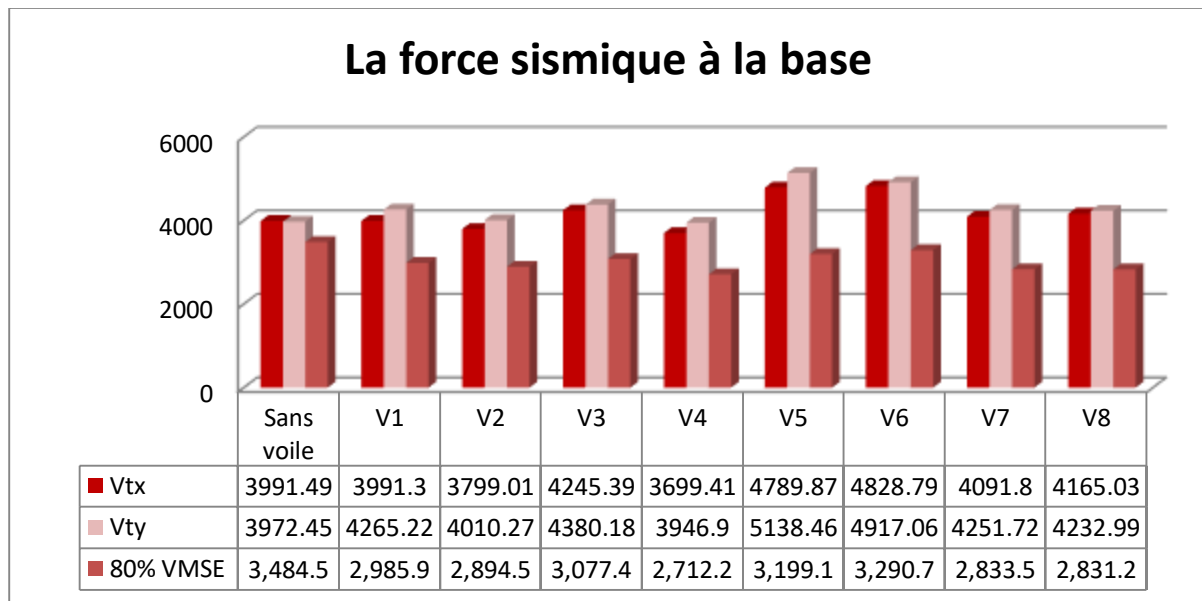


**Figure IV.16 :** Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens X-X



**Figure IV.17 :** Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens Y-Y

**f. La force sismique à la base :**



**Figure IV.18 :** Graphique des résultats de la force sismique à la base

**IV.2. Apports des voiles de contreventement à la structure du bâtiment étudié**

**IV.2.1. Les périodes :** Toutes les variantes avec voiles donnent des périodes  $<$  à celle sans voiles, ce qui veut dire que toutes les variantes avec voiles augmentent la rigidité de la structure.

**IV.2.2. Les masses modales en % :** Pour la variante sans voiles la masse modale en % dans les deux sens x et y sont comparables vu la forme de la structure. Pour les variantes avec voiles on voit que le % de la masse modale est dominant dans le sens x au premier mode (translation selon x), et dans le sens y pour le deuxième mode (translation selon y), et grossièrement comparables pour le 3ème mode (torsion).

**IV.2.3. Les masses modales cumulées en % :** Pour toutes les variantes, le % de la masse modale cumulée dans les trois premiers modes dépassent 60%, mais pour satisfaire la condition du RPA (article 4.3.4) exigeant, pour avoir une bonne réponse aux vibrations sismiques, que la masse modale cumulée doit dépasser 90%, le nombre de modes à prendre en compte dans les variantes avec voiles est très grand par rapport à celui de la variante sans voiles.

**IV.2.4. Les déplacements relatifs :** La condition de déplacement relatif inter étages (article 5.10 RPA99) est vérifiée pour tous les niveaux dans toutes les variantes. Les variantes avec voiles donnent des déplacements relatifs  $<$  à ceux de la variante sans voiles, ce que veut dire que la présence des voiles de contreventement améliore le comportement de la structure vis-à-vis des déplacements inter étages.

**IV.2.5. Les déplacements totaux :** Toutes les variantes avec voiles donnent des déplacements totaux au dernier niveau  $<$  à celui de la variante sans voiles, ce qui augmente la sécurité vis-à-vis des déplacements admissibles et vis à vis des largeurs des joints sismiques s'ils sont nécessaires.

**IV.2.6. Répartition des charges horizontales en % :** dans toutes les variantes avec voiles, les forces sismiques prises par les poteaux dépassent 25%, ainsi ces variantes sont classées (selon le système de structure) dans la classe 4.a Système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portiques-voiles.

**IV.2.7. Force sismique à la base :** Les forces sismique à la base obtenus dans toutes les variantes sont  $>$  à 80% de la force sismique calculée par la méthode statique équivalent, C'est-à-dire la condition du RPA (article 4.3.6) est vérifiée.

Une augmentation allant jusqu'à 25% de la force sismique à la base dans les variantes avec voiles par rapport à la variante sans voiles est due à l'augmentation de la rigidité de la structure, mais vu que la majorité de cette force est prise par les voiles, donc elle n'a aucun effet sur les poteaux de la structure.

**IV.3. Influence de la prise en compte dans l'analyse des efforts et déplacements non linéaires dus l'effet P-Delta :**

Les résultats montrent que le comportement de la structure global (période, déplacement total, déplacement inter étages, ...) subit une variation très faible en incluant l'effet P-Delta dans l'analyse, ce qui conforte la simplification admise par le RPA (article 5.9) vue que la condition exigée par cet article pour pouvoir négliger les effets du 2° ordre (ou effet P-Delta) est satisfaite à tous les niveaux pour toutes les variantes.

**IV.4. Choix des variantes plus parasismiques :**

**IV.4.1. Période :**

<b>Variantes</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>V4</b>	<b>V5</b>	<b>V6</b>	<b>V7</b>	<b>V8</b>
<b>T fond [sec]</b>	1.07	1.07	1.14	1,08	1,05	1,07	1,07	1,07

**Tableau IV.3 : Les périodes fondamentales**

A part la variante V3 qui donne une période de 1.14 sec plus élevée que celle des autres variantes ce qui veut dire que sa structure est moins rigide. Le reste donne des périodes petites et peu différentes (entre 1.05 et 1.08 sec).

**IV.4.2. Les masses modales :**

<b>Variantes</b>	<b>Mode 1</b>			<b>Mode 2</b>			<b>Mode 3</b>		
	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>UZ</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>UZ</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>UZ</b>
<b>V1</b>	46,79	1,26	0	0,83	63,78	0	26,26	8,63	0
<b>V2</b>	39,55	3,83	0	12,72	56,17	0	19,82	11,2	0
<b>V3</b>	24,36	0,95	0	8,51	57,44	0	42,57	16,82	0
<b>V4</b>	36,51	0	0	1,53	65,38	0	31,46	3,56	0
<b>V5</b>	42,37	1,05	0	1,67	67,88	0	33,54	8,36	0
<b>V6</b>	17,86	7,98	0	29,85	46,23	0	28,61	21,59	0
<b>V7</b>	41,28	5,94	0	16,63	56,73	0	18,24	12,48	0
<b>V8</b>	18,24	12,49	0	22,35	51,32	0	19,53	14,82	0

**Tableau IV.4 : Les masses modales**

Les variantes V6, V7 et V8 présentent aux modes 1 et 2 des torsions importantes par rapport aux autres variantes ce qui les rend moins parasismique que les autres.

**IV.4.3. Les déplacements inter-étages :**

Variantes	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
$\Delta_{rx}$ max [cm]	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	,05	0,6	0,5
$\Delta_{ry}$ max [cm]	0,5	0,5	0,5	05	0,5	0,4	0,5	0,4

**Tableau IV.5 :** Les déplacements inter-étages

Dans les sens x, la variante V2 donne un déplacement relatif max de 0.7 cm qui est plus élevé que celle des autres variantes. Le reste donne des déplacements relatifs max petits et peu différentes (entre 0.5 et 0.6 cm).

Dans les sens y, les variantes V6 et V8 donnent des déplacements relatifs max de 0.4 cm qui sont moins que ceux des autres variantes (0.5 cm).

Mais globalement le déplacement inter étages dans toutes les variantes est petit et admissible.

**IV.4.4. Les déplacements totaux :**

Variantes	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
$\Delta_{Tx}$ max [cm]	3,5	3,6	3,1	3,5	3,4	2,7	3,5	3,2
$\Delta_{Ty}$ max [cm]	3,0	3,0	3,1	2,7	3,0	2,4	2,7	2,4

**Tableau IV.6 :** Les déplacements totaux

Dans les sens x, la variante V6 donne un déplacement total de 2.7 cm plus petit que celle des autres variantes. Le reste donne des déplacements totaux plus élevés et peu différentes (entre 3.1 et 3.6 cm).

Dans les sens y, les variantes V4, V6, V7 et V8 donnent des déplacements totaux plus petits et peu différents entre eux (entre 2.4 et 2.7 cm) que ceux des autres variantes, Le reste donne des déplacements totaux plus élevés (entre 3.0 et 3.1 cm).

Mais vu que ce comportement peut être expliqué pour V6, V7 et V8 par leur comportement de torsion en modes 1 et 2 (voir point 4.2 ci-dessus) on peut conclure que la variante V4 est plus parasismique que les autres variantes du point de vue du déplacement total.

## IV.4.5. La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques :

Les variantes	$F_x$ sur les voiles [%]	$F_x$ sur les poteaux [%]	$F_y$ sur les voiles [%]	$F_y$ sur les poteaux [%]
V1	64,29	35,71	68,71	31,30
V2	68,59	31,41	76,28	23,72
V3	57,21	42,79	63,02	36,98
V4	67,38	32,62	76,91	23,09
V5	60,00	40,00	66,81	33,19
V6	69,34	30,66	74,37	25,63
V7	64,97	35,03	74,14	25,86
V8	64,48	35,52	75,28	24,72

Tableau IV.7 : La répartition des charges horizontales entre voiles et portiques

Dans le sens x, Les voiles dans les variantes V4, V2 et V6 reprennent un % des charges horizontales plus élevé (entre 67,38% et 69,34%) par rapport à ceux des autres variantes, où les voiles reprennent un % des charges horizontales plus moins (entre 60% et 64,97%), à part la variante V3 où ce % diminue à 57,21%.

Dans le sens y, Le pourcentage des charges horizontales supportées par les voiles dans la variante V3 (63,02%) est plus faible par rapport à ceux des autres variantes, pour lesquels ce pourcentage est élevée (entre 74,14 % et 76,91%), à part les variantes V1 et V5, où le pourcentage est un peu moins (68,71% et 66,81%).

Donc du point de vu de la répartition des charges sismiques entre voiles et portiques la variante V3 est la moins parasismique puisque les poteaux sont plus chargés ce qui nécessite des mesures à prendre pour éviter la rupture des nœuds.

## IV.4.6. La force sismique à la base :

Les variantes	La force sismique à la base [KN]	
	$V_{tx}$	$V_{ty}$
V1	3991,30	4265,22
V2	3799,01	4010,27
V3	4245,39	4380,18
V4	3699,41	3946,90
V5	4789,87	5138,46
V6	4828,79	4917,06
V7	4091,80	4251,72
V8	4165,03	4232,99

Tableau IV.8 : La force sismique à la base

Dans le sens x, les variantes V6 et V5 marquent des forces sismiques élevées (4828,79 KN et 4789,87 KN) par rapport aux les autres variantes, où elles marquent des forces moins (entre 4091,80 KN et 4245,39 KN), à part les variantes V1, V2 et V4 qui marquent la plus faibles force sismiques (entre 3699,41 KN et 3991,30 KN) par rapport les autres variantes.

Dans le sens y, les variantes V5 et V6 marquent des forces sismiques élevées (5138,46 KN et 4917,06 KN) par rapport aux les autres variantes, où elles marquent des forces moins (entre 4232,99 KN et 4380,18 KN), à part les variantes V4 et V2 qui marquent la plus faibles force sismiques (3946,90 KN et 4010,27 KN) par rapport les autres variantes.

Mais vu que la condition ( $V_{\text{dyn}} \geq 80\% \text{ de } V_{\text{MSE}}$ ) est vérifiée pour toutes les variantes, ces variations donc n'ont pas grand effet sur la sécurité globale de la structure.

De ce qui précède on peut conclure, pour le bâtiment étudié, que les variantes V6 et V8 sont les moins parasismiques que les autres puisqu'elles présentent des torsions importantes aux modes 1 et 2, suivies par la variante V3 dans laquelle les poteaux sont plus chargés par les charges horizontales, ensuite la variante V1 par sa période plus élevée et donc de sa rigidité relativement plus faible que les autres.

Les comportements des autres variantes sont comparables et plus sécuritaires que les autres, mais la variante V4 est la plus parasismique par le faible déplacement total qu'elle présente au dernier niveau.

#### **IV.5. Conclusion :**

L'analyse comparative des résultats a révélé que la présence des voiles augmentait significativement la rigidité et la stabilité de la structure.

D'autre part, il a été constaté que l'inclusion de l'effet P-delta n'affectait pas de manière significative les résultats, vu que la condition exigée par RPA était vérifiée dans toutes les variantes, nous pouvons donc négliger l'effet P-delta dans toutes les variantes.

En conclusion, nous pouvons dire que la variante 4 est clairement ressortie comme était la disposition optimale des voiles, à cause à son meilleur comportement sismique par rapport aux autres variantes.



**CONCLUSIONS  
GÉNÉRALES**

### Conclusions :

L'expérience des séismes passés a montré que les structures contreventées par voiles présentaient un bon comportement sismique, car leur grande rigidité permet de limiter les déplacements latéraux et ainsi assurer la résistance aux forces horizontales, mais la distribution de ces derniers, pour aboutir à une conception adéquate qui permet d'avoir un meilleur comportement structurel et d'une exploitation maximale de la rigidité de la structure, est laissé à présent au choix du concepteur sans directives réglementaires autre que la recherche de la symétrie en rigidité prescrite par le (RPA2003).

Dans cette étude, des différentes variantes ont été étudiées, par deux types d'analyse, l'analyse linéaire (en négligeant les efforts et déplacements dus à l'effet P-delta), et l'analyse non linéaire (en incluant dans les calculs ceux-ci). Des paramètres ont été utilisés comme critères de comparaison pour déterminer la disposition optimale des voiles, ces critères sont la période fondamentale, le déplacement inter étages, le déplacement total, la participation de masse, le pourcentage des efforts horizontaux repris par les voiles et poteaux et la force sismique à la base.

Les résultats de l'étude nous ont permis de conclure les points suivants :

- Toutes les distributions testées ont amélioré considérablement la rigidité et la stabilité de la structure, ce qui est en conformité avec l'expérience cumulée sur le comportement des structures contreventés par voiles.
- L'analyse linéaire était suffisante, car l'inclusion de l'effet P-delta n'affectait pas de manière significative les résultats, ce qui conforte la prescription du Règlement RPA qui permet de négliger les effets du 2<sup>ème</sup> ordre tant que la condition prescrite pour cela est vérifiée.
- L'analyse comparative a mis en évidence l'excellent comportement sismique de la variante 4, par le faible déplacement total qu'elle présente au dernier niveau, et la translation pure suivant x qui ne donne aucune torsion dans le mode 1, ainsi que le pourcentage élevé des efforts sismiques repris par les voiles, ce qui a clairement montré que cette variante est la disposition optimale des voiles.
- Enfin, Cette étude nous a surtout conduit à constater les limites de la prescription des code parasismiques y compris le (RPA99vs2003), concernant la recherche de la symétrie dans la distribution des voiles, car bien que les variantes proposées aient été

choisies de manière à avoir un bon comportement dynamique, dans le respect des règles et recommandations faites par le code algérien, il a été montré que certaines dispositions sont meilleures que d'autres, ce qui impose dans l'immédiat, aux concepteurs de tester, pour chaque projet étudié, plusieurs distributions afin d'en tirer la conception la plus adéquate, et dans le futur, la multiplication des recherches dans cet axe afin d'enrichir le règlement RPA par d'autres prescriptions aidant les concepteurs des structures de bâtiment dans le choix de la disposition optimale des voiles.

---

---

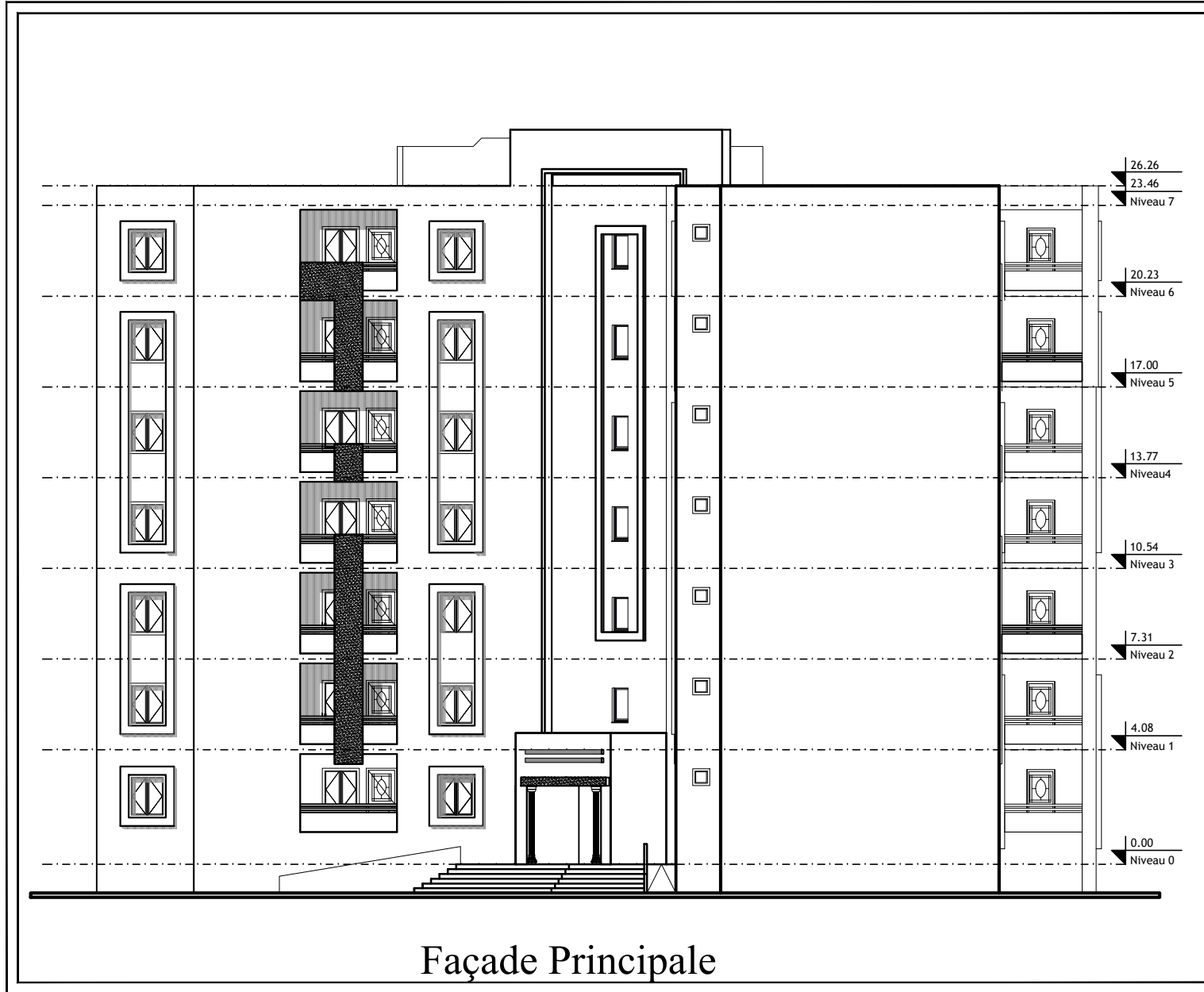
## Références bibliographiques

- [1] AFPS 2003, Rapport préliminaire de la mission AFPS : Le séisme du 21Mai en Algérie.
- [2] A.K.Yelles-Chaouche, Les Séismes en Algérie du Nord, CRAAG, Algérie.
- [3] Belkacemi Meliza, Influence des modèles de comportement non linéaire et le type de chargement sur le comportement global d'un portique en béton armé, Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [4] B. Kebaili, B. Redjel, 2009, Analyse Du Seisme De Boumerdes Juin 2003 Et Règles Parasismiques Algériennes, 1st International Conference on Sustainable Built Environment infrastructures in Developing countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009.
- [5] Hadjaz Leila, Influence du nombre d'étages sur la performance sismique des structures auto-stables en B.A, Mémoire de Master 2018, Université de Tizi-Ouzou.
- [6] <https://www.brgm.fr/publication-presse/evaluer-risques-sismiques-milieu-urbain-exemple-nice>
- [7] [https://www.researchgate.net/figure/Figure5-Effondrement-etage-souple-du-RDC\\_fig3\\_268415124](https://www.researchgate.net/figure/Figure5-Effondrement-etage-souple-du-RDC_fig3_268415124)
- [8] <https://www.univ-chlef.dz/fgca/Chapitre-2-Pathologie.pdf>.
- [9] <https://www.univ-chlef.dz/CHAPITRE-3-LES-CONTREVENTEMENTS.pdf>.
- [10] Kacimi Nacéra, Analyse numérique d'une structure auto stable et d'une structure mixte (portiques + voiles), Mémoire de Master 09 Octobre 2013, Université de Tizi-Ouzou.
- [11] Kouahla Chahinez, Influence De La Position Des Voiles Sur Le Comportement Les Structures En Béton Armé, Mémoire de Master 2014, Université 8 Mai 1945-Guelma.
- [12] Milan Zacek, 2004, Conception Parasismique Niveau D'avant-projet, Cahier Numéro 1, Collection Conception Parasismique, Milan Zacek.
- [13] Règles Parasismiques Algériennes, RPA 99 / Version 2003, Centre National De Recherche Appliquée En Génie Parasismique. Algérie.
- [14] V.Davidovici Rapport Préliminaire ; Séisme Boumerdes du 21Mai 2003.

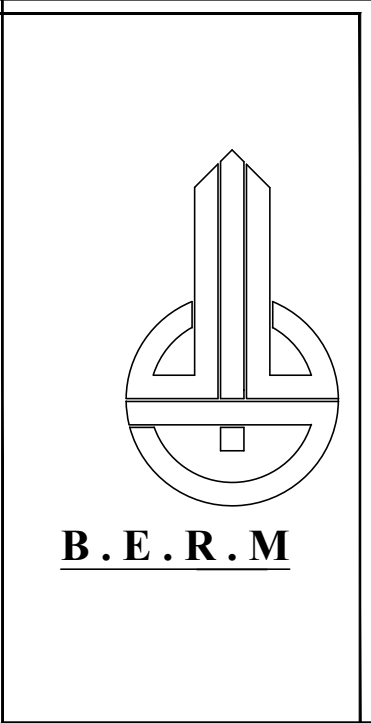








Façade Principale

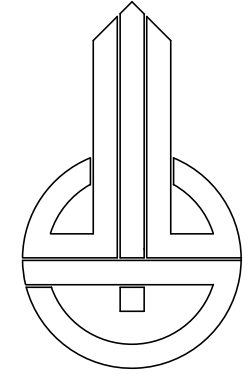


République Algérienne Démocratique et Populaire  
 Société de Gestion Des Participants INJAB Alger  
 Bureau d'Etude et de Recherches MSHLA  
 R.C: 00 B 0562343 du 23/06/2008 Mail: berm\_mshla@yahoo.fr  
 Siège Social: Rue CHERID Abdelhafid Bp 88 M'sala Capital Social: 41 000 000 DA  
 NIF: 0 980 2801 0000159 A.I: 280120/01/083  
 Tel: 00355534953 Fax: 00355534953

**Projet :** Réaménagement 108/238/1000/1500 Logements Promotionnels Public à MSHLA Hot N° 02  
 Permis de Construire Modificatif  
**Maître de l'Ouvrage :** -E.N.P.I- Direction régional de B.B.A  
**Lieu :** Commune de M'sala

Plans	Echelles	Visa	DEU
<input checked="" type="checkbox"/> Façade Principale	1 / 50		
Observations :		Dossier :	
Bloc n°: 07		ARCHITECTURE	
Feuille n°: 10/00		Date: 11/2014	

Modifié le: 06/06/2016  
 Par: Bekri.S  
 Visa :



**B . E . R . M**

République Algérienne Démocratique et Populaire  
 Société de Gestion Des Participants INJAB Alger  
 Bureau d'Etudes et de Recherches MSILA  
 R.C: 00 B 0562343 du 23/06/2008 Mail: berm\_msila@yahoo.fr  
 Siège Social: Ras CHEIKH Abdelhafid Bp 88 M'sila Capital Social: 41 000 000 DA  
 NIF: 0 980 2801 0000159 A.J: 280120 01 083  
 Tel: 035/55/05/51 Fax: 035/55/34/95

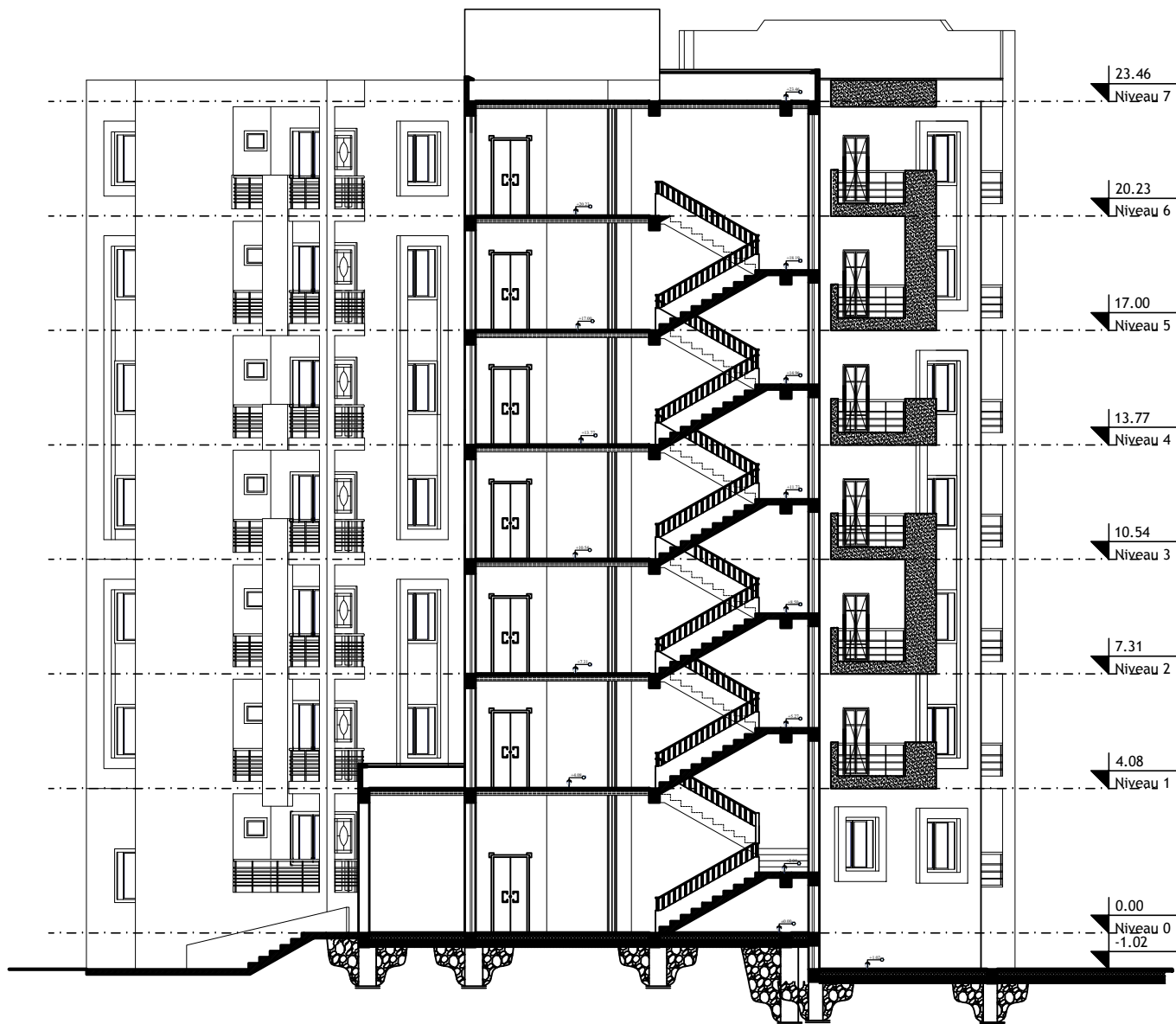
**Projet :** Réaménagement 108/238/1000/1500 Logements Promotionnels  
 Publie à MSILA lot N° 02  
**Permis de Construire Modificatif**  
**Maitre de l'Ouvrage :** -E.N.P.I- Direction régional de B.B.A  
**Lieu :** Commune de M'sila

Plans :	Echelle :	Vue :
<input checked="" type="radio"/> Façade Latérale Droite	1 / 50	
Observations :		Dossier :
Bloc n°: 07		ARCHITECTURE
Date de l'étude :		Date :
Architecte :		Dessinateur :
Approuvé :		Date :

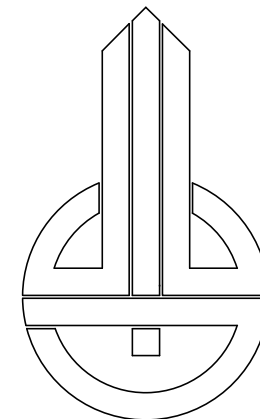
Modifié le: 06/06/2016  
 Par: Bekri S.



Façade Postérieur



COUPE A-A



**B . E . R . M**

République Algérienne Démocratique et Populaire  
 Société de Gestion Des Participants INJAB Alger  
 Bureau d'Etudes et de Recherches MSILA  
 R.C: 00 B 0562343 du 23/06/2008 Mail: berm\_msila@yahoo.fr  
 Siege Social Rue CHERID Abdelhafid Bp 88 M'sila Capital Social 41 000 000 DA  
 NIF 0 980 2801 0000159 A.I 280120 01 083  
 Tel: 035/55/05/51 Fax: 035/55/34/95

**Projet :** Réaménagement 108/238/1000/1500 Logements Promotionnels  
 Publie à MSILA lot N° 02  
 Permis de Construire Modificatif  
**Maître de l'Ouvrage :** -E.N.P.I.- Direction régional de B.B.A  
**Lieu :** Commune de M'sila

Plans :		Echelle :	Visa BET :
●	Coupe A-A	1 / 50	
Observations :			Dossier :
Bloc n°: 07			ARCHITECTURE
Planche No. (00/00)	Architecte :	Intervenant :	Date :
			11/2013

Modifié le: 06-06-2016  
 Par: Bekri.S  
 Visa :