



République algérienne démocratique et  
populaire Université Mohamed Boudiaf de  
M'Sila



**Faculté de Technologie**  
**Département de génie civil**  
**MÉMOIRE DE MASTER**

*Soutenu en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil*

**Option : Structures**

-----

**Effet de la forme en plan sur la réponse  
dynamique de la structure d'un  
bâtiment**

-----

*Réalisé par :*

BENZIANE AHMED

*Sous la direction de :*

Mr Amar HAMITOUCHE

Juin 2024

---

# Remerciements



Tout d'abord, je souhaite remercier mon directeur de recherche, Amar HAMITOUCHE, pour son soutien indéfectible, ses conseils avisés et son encadrement tout au long de cette étude.

Je remercie également les membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

A ma chère tante KARIMA MERCI Je n'oublierai pas votre gentillesse et votre soutien continu

Mes remerciements vont aussi à mes collègues et amis, en particulier D L Zouareg Mohamed Ridha et Neguez mohammed el amin , ..pour leur aide précieuse, leurs discussions stimulantes et leur soutien moral..

Je ne saurais oublier ma famille, et tout particulièrement mes parents, dont l'amour, la patience et le soutien infailible m'ont accompagné tout au long de cette aventure académique. Leur confiance en mes capacités a été une source de motivation

À toutes et à tous, je vous exprime ma plus profonde reconnaissance.

---

# Dédicaces



À la personne la plus précieuse de ma vie, ma mère bien-aimée, qui m'a donné la vie et m'a comblé d'un amour et d'une tendresse infinie, à celle qui a veillé sur mon confort et s'est sacrifiée pour moi. À celle qui a toujours été mon soutien et ma subsistance, celle qui m'a enseigné la valeur du don et de la patience.

Aucun mot ne suffit pour exprimer à quel point je suis reconnaissant et aimant envers vous. Je prie Dieu de vous protéger, de vous accorder la santé et le bien-être, et de vous récompenser pour chaque moment de générosité et de sacrifice avec la plus belle des récompenses.

Merci, Mon Père ALI BENZIANE , pour tout. Je demande à Dieu de te protéger et de prolonger ta vie. Je t'aime du fond du cœur et j'espère toujours être fier de toi, car tu as toujours été ma fierté.

A mon frère SAAD et ma belle sœur MOUNIRA

AHMED BENZIANE

## ملخص

تدرس أطروحة الماستر الخاصة بي السلوك الديناميكي للمباني المعرضة للأحمال الزلزالية، مع التركيز على تأثيرات الأشكال المختلفة على الاستجابة الهيكلية. وباستخدام تقنيات النمذجة الرقمية المتقدمة وأدوات المحاكاة مثل برامج التحليل الهيكلي اروبو، تم تحليل الهياكل الهيكلية المختلفة (أشكال المخططات في المستوى): المستطيلة، والشكل L ، والشكل T. تم دراسة الخصائص الديناميكية الرئيسية مثل الأدوار الطبيعية وأشكال الأوضاع ومعلمات الاستجابة الزلزالية. سلطت النتائج الضوء على الدور الأساسي للانتظام والتماثل الهندسي في تقليل التأثيرات الالتوائية وتحسين السلوك الهيكلي العام.

نوصي بمضاعفة الدراسات المماثلة لتحسين قوانين البناء وإثراء إرشادات التصميم الزلزالي، من أجل الحصول على قدر أكبر من الأمان والاستقرار.

**الكلمات المفتاحية:** شكل المخطط، الانتظام، التماثل، النمذجة، الاستجابات الديناميكية، الاستقرار، الأمان.

## Abstract

My master thesis studies the dynamic behavior of buildings subjected to seismic loading, with emphasis on the effects of different planforms on the structural response. Using advanced numerical modeling techniques and simulation tools such as Robot Structural Analysis, various structural configurations (plan shapes): rectangular, T-shape, and L-shape were analyzed. Key dynamic properties such as natural periods, modal shapes, and seismic response parameters were studied. The results highlighted the essential role of geometric regularity and symmetry in minimizing torsional effects and improving the overall structural behavior.

Similar studies are recommended to improve building codes and enrich seismic design guidelines to achieve greater safety and stability

**Keywords:** plan shape, regularity, symmetry, modeling, dynamic responses, stability, safety.

## Résumé

Mon mémoire de master étudie le comportement dynamique des bâtiments soumis à des charges sismiques, en mettant l'accent sur les effets des différentes formes en plan sur la réponse structurelle. À l'aide de techniques avancées de modélisation numérique et d'outils de simulation tels que l'analyse structurelle par robot, diverses configurations structurelles, (formes en plan) : rectangulaire, forme en T et forme en L, ont été analysées. Les propriétés dynamiques clés telles que les périodes naturelles, les formes modales et les paramètres de réponse sismique ont été étudiées. Les résultats ont mis en évidence le rôle essentiel de la régularité géométrique et de la symétrie dans la minimisation des effets de torsion et l'amélioration du comportement structurel global.

On recommande la multiplication d'études semblables pour améliorer les codes du bâtiment et enrichir les directives de conception parasismique, afin d'obtenir une plus grande sécurité et stabilité.

**Mots clés :** forme en plan, régularité, symétrie, modélisation, réponses dynamique, stabilité, sécurité

---

# Table des matières



<b>Remerciements</b>	<b>i</b>
<b>Dédicaces</b>	<b>ii</b>
<b>Résumés</b>	<b>iii</b>
<b>Table des matières</b>	<b>v</b>
<b>Table des figures</b>	<b>ix</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>xii</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Etude Bibliographique</b>	<b>3</b>
1.1 Les structures régulières . . . . .	3
1.1.1 Configuration symétrique de la structure . . . . .	3
1.1.2 Excentricité . . . . .	4
1.1.3 La torsion d'ensemble . . . . .	5
1.1.4 Saillies, décrochements en plan et élancement géométrique . . . . .	5
1.1.5 Rigidité du plancher . . . . .	6
1.1.6 Renforcement des angles rentrants . . . . .	6
1.2 .Présentation des problèmes pathologiques liés à l'absence des voiles . . . . .	7
1.2.1 Rez-de-chaussée souple en béton armé . . . . .	7
1.2.2 Etages intermédiaires flexibles . . . . .	9
1.2.3 Poteaux courts . . . . .	11
1.2.4 Présentation des problèmes pathologiques en présences des voiles . . . . .	12
1.3 Étude et Classification des Séismes . . . . .	14

1.3.1	Définition de séisme .....	14
1.3.2	Évaluation du séisme.....	14
1.3.3	La source séisme .....	15
1.3.4	Classification des zones sismiques .....	16
<b>2</b>	<b>Présentation des éléments de l'étude</b>	<b>18</b>
2.1	Description du bâtiment étudié .....	19
2.1.1	Caractéristiques géométriques.....	19
2.1.2	Caractéristiques fonctionnelles .....	21
2.1.3	Caractéristiques structurelles.....	22
2.1.4	Règles de calcul et logicielles adoptés.....	22
2.2	Logiciels utilisés.....	23
2.2.1	Modélisation de Structures .....	23
2.2.2	Analyses Statique et Dynamique .....	23
2.2.3	Calcul des Charges .....	23
2.2.4	Calcul des Déformations et Contraintes.....	23
2.2.5	Vérification de la Résistance et de la Stabilité .....	23
2.2.6	Analyse des Fondations .....	24
2.2.7	Intégration avec Autres Logiciels.....	24
2.3	Evaluation des charges et surcharges .....	24
2.3.1	Charges permanentes et surcharges d'exploitation.....	24
2.3.2	Charges sismiques .....	25
2.4	Les facteurs sismiques de calcul pour l'évaluation de la charge sismique dans notre cas.....	26
2.4.1	Importance du bâtiment.....	26
2.4.2	COEFFICIENT DE COMPORTEMENT R.....	26
2.4.3	COEFFICIENT D'ACCELERATION DE ZONE A.....	26
2.4.4	Facteur de correction d'amortissement $\eta$ .....	26
2.4.5	facteur de qualité Q .....	27
2.5	facteur d'amplification dynamique moyen.....	27
2.5.1	poids total de la structure.....	27
<b>3</b>	<b>Etude numérique</b>	<b>29</b>
3.1	Objectif.....	29
3.2	BLOC RECTANGULAIRE .....	30
3.2.1	Estimation de la période fondamentale de la structure .....	30
3.2.2	Réaction sismique à la base .....	31
3.2.3	Efforts dans la poutre (30x40) .....	34

3.2.4	Effort dans le poteau 40x40 .....	36
3.2.5	Effort dans le voile $e_p=20\text{cm}$ .....	37
3.3	BLOC L .....	39
3.3.1	Estimation de la période fondamentale de la structure : .....	40
3.4	Réaction sismique à la base .....	40
3.4.1	Déplacement .....	40
3.4.2	La force SISMIQUE.....	42
3.4.3	Facteur de sécurité vis-à-vis du renversement .....	42
3.4.4	Efforts dans la poutre (30x40) .....	44
3.4.5	Effort dans le poteau 40x40 .....	47
3.4.6	Effort dans le voile $e_p=20\text{cm}$ .....	50
3.5	FORME T .....	52
3.5.1	Estimation de la période fondamentale de la structure .....	52
3.6	Réaction sismique à la base .....	53
3.6.1	Déplacement .....	53
3.6.2	La force SISMIQUE.....	54
3.6.3	Facteur de sécurité vis-à-vis du renversement .....	55
3.6.4	Efforts dans la poutre (30x40) .....	56
3.6.5	Effort dans le poteau 40x40 .....	60
3.6.6	Effort dans le voile $e_p=20\text{cm}$ .....	62
<b>4</b>	<b>Analyse et interprétation des résultats</b> .....	<b>64</b>
4.1	Effet de la forme en plan sur la période .....	65
4.1.1	Diagramme des valeur T(sec) .....	65
4.2	Effet de la forme en plan sur le déplacement total .....	66
4.2.1	Valeurs du déplacement total en fonction de la forme en plan .....	66
4.2.2	Diagramme déplacements totaux en fonction de la forme en plan.....	66
4.3	Effet de la forme en plan sur la force sismique .....	69
4.3.1	Diagramme Des valeur EX et EY en fonction de la forme en plan.....	70
4.4	Effet de la forme en plan sur le renversement .....	71
4.4.1	Diagramme des valeur du facteur de sécurité vis-à-vis du renversement en fonction de la forme en plan.....	72
4.5	Effet de la forme en plan sur les efforts des éléments .....	74
4.5.1	Effet de forme en plan sur les efforts de poutre.....	74
4.5.2	Effet de la forme en plan sur les efforts du poteau.....	76
4.5.3	Effet de la prise en compte de forme en plan sur les efforts tranchants (T) du voile.....	78
4.5.4	Effet de la forme en plan sur les efforts normal (N) du voile.....	80

4.5.5 Effet de la forme en plan sur le moment $M_{xx}$ et $M_{yy}$ de voile.....	82
<b>Conclusion générale</b>	<b>84</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>85</b>

---

# Table des figures



1.1	Formes régulières : plans simples à 2 axes de symétrie.....	4
1.2	décalage entre CM et CR entraîne une torsion du bâtiment.....	4
1.3	déformations de torsion : Dommages dus à des concentrations de contraintes (Séisme de kobé1995).....	5
1.4	déformations de torsion : Dommages dus à des concentrations de contraintes (Séisme de kobé1995) .....	6
1.5	Renforcement d'un angle rentrant .....	7
1.6	Destruction de RDC .....	8
1.7	Bâtiment d'habitation de 3 étages, (EL Asnam, Algérie), est endommagé par le séisme de 1980 d'EL Asnam .....	8
1.8	Etage intermédiaire flexible.....	9
1.9	Cisaillement des poteaux d'une construction à Bordj el bahri.Séisme de 2003, Boumerdes, Algérie.....	10
1.10	Perte d'un étage de la mairie de Kobe (Séisme de Kobe (Japon) en 1995).....	10
1.11	Poteau court .....	11
1.12	Destruction des poteaux à cause du fonctionnement en "poteaux courts", seisme de 2003 Boumerdes .....	12
1.13	Détail de destruction des poteaux à cause du fonctionnement en "poteaux courts"	12
1.14	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 .....	13
1.15	Bâtiment asymétrique .....	13
1.16	Magnitude à l'échelle richter .....	15
1.17	Schéma d'un séisme montrant le foyer (source) et l'épicentre, ainsi que la propagation des ondes sismiques à travers la faille.....	16
1.18	Carte des zones de sismicité de l'Algérie.....	16

2.1	Plan R+5.....	19
2.2	Plan architectural.....	21
3.1	Forme RECTANGULAIRE .....	30
3.2	cas 1,1 .....	34
3.3	cas 1,2 .....	34
3.4	cas 1,3 .....	35
3.5	diagramme MY FORME RECT.....	35
3.6	diagramme FZ FORME RECT .....	35
3.7	Voile forme rectangulaire.....	37
3.8	Formes L.....	39
3.9	cas 2.1 .....	44
3.10	cas 2.2 .....	44
3.11	cas 2.3 .....	45
3.12	diagramme MY FORME L .....	45
3.13	diagramme FZ FORME L.....	46
3.14	diagramme FX FORME L.....	46
3.15	diagramme MY FORME L .....	48
3.16	diagramme FZ FORME L.....	48
3.17	diagramme FX FORME L.....	49
3.18	VOILE FORME L .....	50
3.19	PLAN Formes T.....	52
3.20	CAS 3.1 .....	56
3.21	CAS3.2.....	56
3.22	CAS3.3.....	57
3.23	diagramme MY FORME T .....	57
3.24	diagramme FZ FORME T.....	57
3.25	diagramme FX FORME T.....	58
3.26	diagramme poteau MY FORME T.....	61
3.27	diagramme poteau FZ FORME T .....	61
3.28	diagramme poteau FX FORME T .....	61
3.29	: VOILE FORME T .....	62
4.1	Le graphique montre les variations de la période (en secondes) pour trois formes structurales : FORM RECT, FORME L, et FORME T.....	65
4.2	les déplacements totaux en réponse aux forces sismiques .....	66
4.3	les déplacements totaux absolus .....	68
4.4	Diagramme Des valeur EX et EY.....	70

4.5	Diagramme des valeur du facteur de sécurité vis-à-vis du renversement en fonction de la forme en plan.....	72
4.6	Diagramme forme en plan sur les efforts de poutre .....	74
4.7	Formes régulières : plans simples à 2 axes de symétrie.....	76
4.8	Formes régulières : plans simples à 2 axes de symétrie.....	78
4.9	Diagramme forme en plan sur les efforts normal .....	80
4.10	Diagramme forme en plan l'interaction sur le moment $M_{xx}$ et $M_{yy}$ de voile.....	82

---

# Liste des tableaux



2.1	Charges par étage .....	24
3.1	Fréquences et périodes pour différents modes.....	30
3.2	Déplacements dus aux forces sismiques et déploiements absolus .....	31
3.3	Données pour différents niveaux en sens X-X.....	31
3.4	Données pour différents niveaux en sens X-X.....	32
3.5	Données DE renversement en sens X-X .....	32
3.6	Données DE renversement en sens Y-Y.....	33
3.7	Forces et moments en différents barres, noeuds et cas .....	36
3.8	Forces et moments en différents barres, noeuds et cas .....	37
3.9	Forces et moments en différents barres, noeuds et cas .....	38
3.10	Fréquence et période pour différents modes.....	40
3.11	Déplacements sismiques et absolus .....	40
3.12	Données pour différents niveaux en sens X-X.....	41
3.13	Données pour différents niveaux en sens Y-Y.....	41
3.14	Données DE renversement en sens X-X .....	42
3.15	Données DE renversement en sens Y-Y.....	43
3.16	Forces en différents barres, noeuds et cas.....	47
3.17	Forces et moments en différents barres, noeuds et cas .....	48
3.18	Forces et moments en différents barres, noeuds et cas .....	51
3.19	Fréquence et période pour différents modes.....	52
3.20	Déplacements sismiques et absolus .....	53
3.21	Données pour différents niveaux en sens X-X.....	54
3.22	Données pour différents niveaux en sens Y-Y.....	54
3.23	Données DE renversement en sens X-X .....	55
3.24	Données DE renversement en sens Y-Y.....	55
3.25	Forces et moments en différents barres, noeuds et cas .....	59

3.26	Forces and moments in different bars, nodes, and cases .....	60
3.27	Forces et moments en différents barres, noeuds et cas .....	63
4.1	Valeur de Période pour différents cas .....	65
4.2	Déplacement en différents sens pour différents cas .....	66
4.3	Déplacement en différents sens pour différents cas .....	68
4.4	Forces sismiques pour différents cas de forme .....	69
4.5	Calcul des ratios pour différents cas de forme .....	71
4.6	Valeurs de FZ et MY pour différents cas .....	74
4.7	Valeurs de FX, MY et MZ pour différents cas .....	76
4.8	Valeurs de TXX et TYY pour différents cas .....	78
4.9	Valeurs de NXX et NYY pour différents cas .....	80
4.10	Valeurs de TXX et TYY pour différents cas .....	82

---

# Introduction générale



L'étude du comportement dynamique des bâtiments est essentielle pour comprendre comment les structures répondent aux diverses sollicitations dynamiques, telles que les vibrations, les charges de vent, et en particulier les tremblements de terre. Cette discipline, située à l'intersection de la mécanique des structures, de la géotechnique et de l'ingénierie sismique, vise à prédire les réponses des bâtiments sous l'effet de ces forces et à concevoir des structures capables de résister à de tels événements sans subir de dommages catastrophiques. Les séismes, en particulier, présentent un défi unique en raison de leur nature imprévisible et de leur potentiel de destruction massive. Les bâtiments peuvent être exposés à différentes formes d'accidents en raison de leur comportement dynamique. Voici quelques accidents courants qui peuvent survenir dans les bâtiments pendant les séismes :

1- Effondrement structurel : Un séisme intense peut causer l'effondrement partiel ou total d'un bâtiment. Cela peut être dû à une conception inadéquate, à des défauts de construction, à des matériaux de mauvaise qualité ou à une combinaison de facteurs.

2- Défaillance des éléments structuraux : Certains éléments structuraux, tels que les poteaux, les poutres ou les murs, peuvent subir des dommages importants pendant un séisme, ce qui peut affaiblir la résistance globale du bâtiment

3- Déformation excessive : Les vibrations sismiques peuvent provoquer des déformations excessives dans la structure du bâtiment, telles que l'inclinaison, l'inflexion ou l'oscillation excessive, ce qui peut mettre en danger la stabilité et l'intégrité structurelle

La prévention de ces accidents – en mettant en œuvre les bonnes pratiques d'ingénierie parasismique, en réalisant des analyses structurales avancées, en choisissant des matériaux de qualité et en mettant en place des techniques de renforcement structurel lorsque cela est nécessaire – est une tâche primordiale des spécialistes afin de prendre en considération tout paramètre influant sur le bon comportement du bâtiment.

## **Problématique et objectif :**

Un facteur principal influant le comportement dynamique d'un bâtiment est sa régularité

et symétrie et donc de sa forme en plan (pris en compte partiellement dans les règlements parasismiques notamment le RPA dans l'évaluation du facteur de qualité Q. Cette étude se propose d'analyser plusieurs modèles d'un même bâtiment avec des formes en plan différentes et d'étudier l'effet de la forme en plan sur les réponses dynamiques de la structure de celui-ci.

**Composition du mémoire:** Pour atteindre ces objectifs le mémoire est conçu comme suit :

Une introduction présentant le but de l'étude et les démarches suivies pour la mener à ces termes

Chapitre 1 : Etude bibliographique sur le comportement dynamique des structures .

Chapitre 2 : la présentation des composants de l'étude

Chapitre 3 : Analyse des modèles de la structure et présentation des résultats.

Chapitre 4 : Discussion et interprétation des résultats de l'étude.

Et enfin des conclusions générales récapitulant les résultats de l'étude.

---

# Etude Bibliographique

## Introduction

Le comportement dynamique des bâtiments est nécessaire pour la conception de structures résistantes aux charges dynamiques, telles que les tremblements de terre, lorsqu'un bâtiment est soumis à une charge dynamique, sa structure subit des mouvements vibratoires qui peuvent entraîner des déformations, des déplacements et des contraintes

### 1.1 Les structures régulières

Pour qu'une structure en béton armé soit considérée comme étant régulière en plan elle doit vérifier les conditions suivantes :

#### 1.1.1 Configuration symétrique de la structure

La structure d'un bâtiment doit être conçue pour résister efficacement aux mouvements sismiques horizontaux, qui peuvent se produire dans toutes les directions. Pour cela, il est essentiel que les éléments structuraux du bâtiment présentent des niveaux de résistance et de rigidité similaires dans les deux principales directions. Cette exigence nous guide vers le choix de structures avec des formes symétriques. L'idéal serait d'opter pour une conception qui ne se contente pas d'être symétrique autour de deux axes, mais qui s'aligne aussi étroitement que possible sur un axe de symétrie central, assurant ainsi une meilleure stabilité et résilience lors de tremblements de terre.

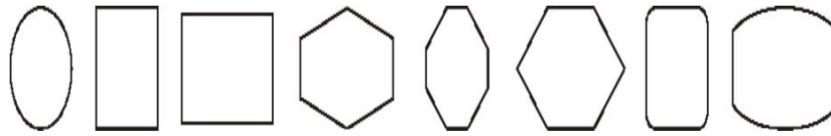


FIGURE 1.1 : Formes régulières : plans simples à 2 axes de symétrie

### 1.1.2 Excentricité

Dans l'action sismique, plusieurs faits sont à l'origine de la torsion des bâtiments : L'existence d'excentricités structurales entre les centres de gravité  $CM_i$  et les centre de rigidité  $CR_i$  (ou centre de torsion) à chaque niveau  $i$ . Les composantes horizontales de l'action sismique induisent dans une structure, outre la flexion et le cisaillement, de la torsion, car le centre de gravité  $CM_i$ , point de passage de la force d'inertie engendrée par le tremblement de terre à un niveau donné  $i$ , n'est généralement pas confondu avec le centre de torsion  $CR_i$  de cet étage. Il en résulte alors des moments de torsion. Dans une construction multi-étage, les centres de masses  $CM_i$  des différents étages  $i$  ne sont pas nécessairement sur une même verticale, pas plus que les centres de torsion  $CR_i$ . Un niveau  $j$  dont le centre de masse  $CM_j$  serait confondu avec le centre de torsion  $CR_j$  peut donc quand même être soumis à une torsion résultant des décalages entre  $CM$  et  $CR$  aux niveaux supérieurs

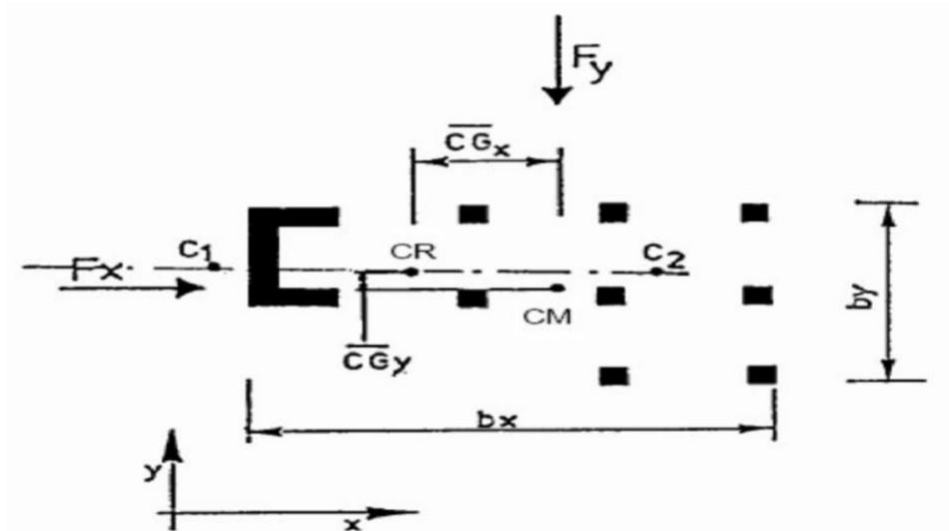


FIGURE 1.2 : décalage entre  $CM$  et  $CR$  entraîne une torsion du bâtiment.

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

### 1.1.3 La torsion d'ensemble

La "torsion d'ensemble" dans le contexte des bâtiments fait référence à une forme de déformation où la structure ou des parties de celle-ci se tordent autour de son axe longitudinal. Cette situation peut être due à plusieurs facteurs, y compris des charges latérales comme le vent ou des séismes, une répartition inégale des charges, ou une conception inadéquate pour résister à ces forces. La gestion de la torsion d'ensemble est cruciale pour la stabilité et la sécurité d'un bâtiment. Les ingénieurs structurels utilisent diverses techniques pour contrôler ou minimiser cet effet, comme renforcer la rigidité de la structure, utiliser des matériaux plus résistants à la torsion, ou optimiser la forme et la disposition des éléments structurels pour distribuer les charges plus uniformément. Mais cela nécessite une planification et une exécution très soignées pour s'assurer que le bâtiment reste sûr et fonctionnel.

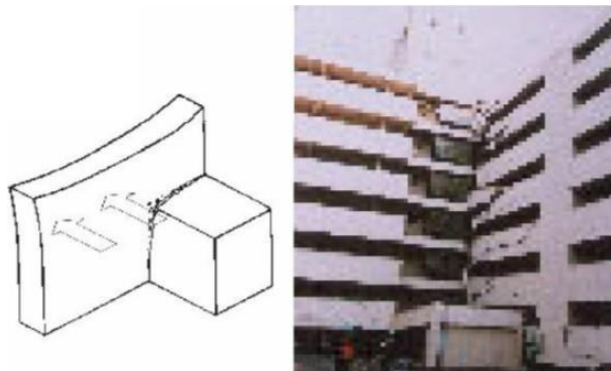


FIGURE 1.3 : déformations de torsion : Dommages dus à des concentrations de contraintes (Séisme de Kobé 1995)

Dans ce cas bien précis, les ailes subissent des déformations de torsion en vrille à l'intersection des ailes. Des dommages dus aux concentrations des contraintes sont fréquents notamment lorsque les ailes d'un bâtiment n'ont pas les mêmes hauteurs.

### 1.1.4 Saillies, décrochements en plan et élancement géométrique

Les symétries selon deux axes peuvent également entraîner des ailes, des saillies et/ou des retraits, créant ainsi des angles rentrants. Pour remédier à ces inconvénients, il est possible d'utiliser des joints sismiques, comme illustré dans la figure 1. De plus, la différence de rigidité entre les axes transversal et longitudinal d'un plan rectangulaire peut être corrigée en renforçant le contreventement (fig 2). Sans cette correction, il est nécessaire de limiter cette différence en évitant les rectangles très allongés. Afin de garantir une "compacité du

plan", il est recommandé que le rapport des côtés ne dépasse pas 4, conformément aux règlements parasismiques en vigueur .

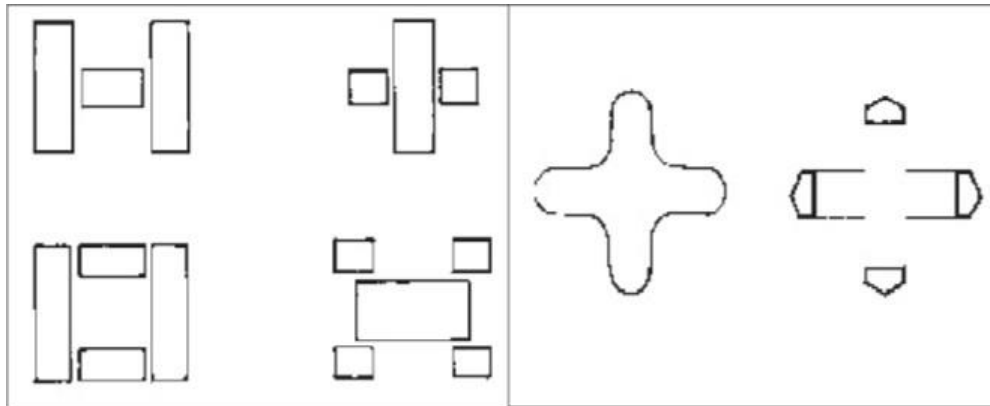


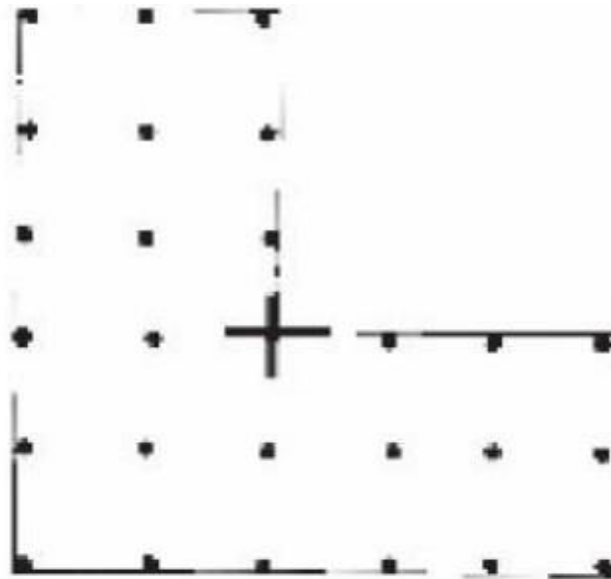
FIGURE 1.4 : déformations de torsion : Dommages dus à des concentrations de contraintes (Séisme de kobé1995)

### 1.1.5 Rigidité du plancher

Les planchers doivent toujours posséder une rigidité adéquate par rapport à celle des contreventements verticaux pour être considérés comme indéformables dans leur configuration. À cet effet, il est essentiel que la surface totale des ouvertures de plancher ne dépasse pas 15

### 1.1.6 Renforcement des angles rentrants

Cette solution, fréquemment utilisée aux Etats-Unis et au Japon, est délicate à mettre en œuvre (figure I) Sa performance n'est pas encore prouvée lors de grands séismes. Cette méthode nécessite un dimensionnement substantiel des structures porteuses verticales situées dans les angles rentrants, créant des points de rigidité (concentration de tensions) qui captent les forces sismiques



## Renforcement d'un angle rentrant.

FIGURE 1.5 : Renforcement d'un angle rentrant

## 1.2 .Présentation des problèmes pathologiques liés à l'absence des voiles

Les cas pathologiques les plus courants sont :

### 1.2.1 Rez-de-chaussée souple en béton armé

Pendant un tremblement de terre, le mouvement du sol cible les points faibles de la structure, souvent dus à des variations brusques de rigidité, de résistance ou de ductilité. Un "niveau souple" se définit par sa rigidité nettement inférieure à celle du niveau directement au-dessus. Les déformations dues aux séismes se concentrent sur ce niveau et, en cas de séismes de moyenne à forte intensité, la structure peut ne pas supporter ces déformations, conduisant souvent à l'écrasement de ce niveau. Les dommages structurels sévères observés sur de nombreux bâtiments modernes lors de récents séismes soulignent l'importance de minimiser ces changements abrupts de rigidité et de forces latérales. L'effet de niveau souple est fréquemment observé au rez-de-chaussée des immeubles pour deux raisons principales : premièrement, ces niveaux contiennent souvent de vastes espaces ouverts

tels que des locaux commerciaux sans cloisons, avec des façades vitrées ou de nombreuses ouvertures ; deuxièmement, leur hauteur est généralement supérieure à celle des autres niveaux.

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



FIGURE 1.6 : Destruction de RDC



FIGURE 1.7 : Bâtiment d'habitation de 3 étages, (EL Asnam, Algérie), est endommagé par le séisme de 1980 d'EL Asnam

## 1.2.2 Étages intermédiaires flexibles

Dans le contexte de la réglementation parasismique algérienne RPA 99 (version 2003), les étages intermédiaires flexibles, qui se caractérisent par une absence de murs ou cloisons internes pour maximiser l'espace, ne sont pas prohibés. Toutefois, la réglementation spécifique des précautions à prendre en compte pour pallier leur moindre rigidité relative. En effet, l'absence de cloisons peut significativement réduire la rigidité d'un étage, affectant ainsi la stabilité globale de la structure. Pour ces étages, qui peuvent s'avérer plus flexibles soit par l'installation de dispositifs de résistance moindres, soit par des dommages ou défaillances de ces dispositifs, des mesures spécifiques sont prescrites. Selon les articles 5.10 et 5.9 de la RPA 99, il est nécessaire de limiter le déplacement relatif entre les étages et de considérer l'effet P-Delta, qui peut exacerber les contraintes sur la structure lorsque celle-ci est soumise à des déformations sous charge. Ces directives visent à maintenir l'intégrité structurale du bâtiment en cas de séisme.

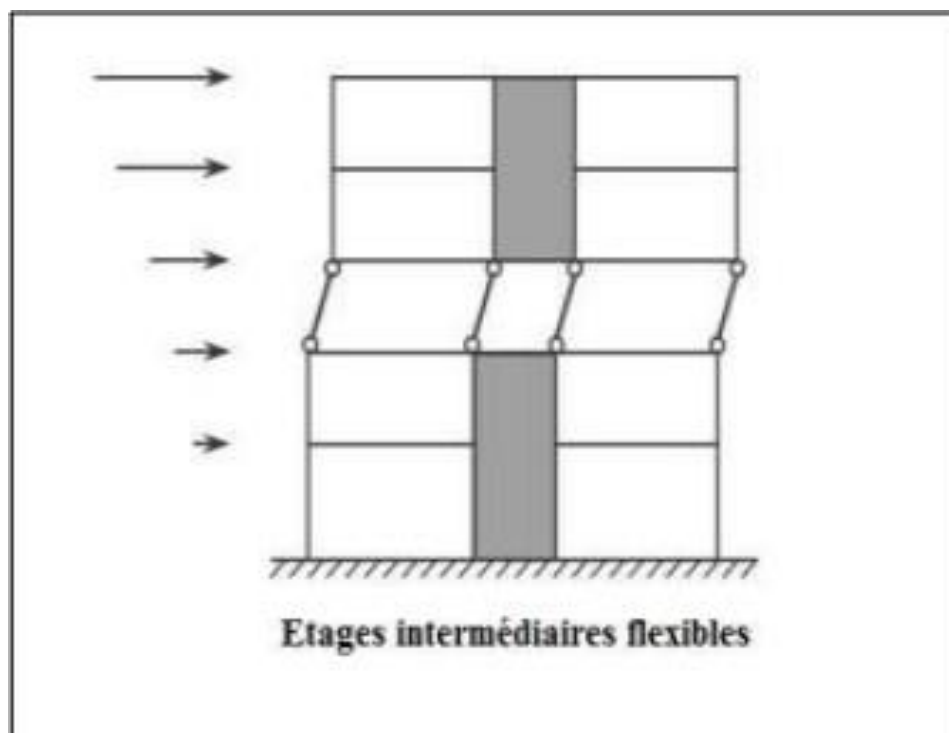


FIGURE 1.8 : Etage intermédiaire flexible



FIGURE 1.9 : Cisaillement des poteaux d'une construction à Bordj el bahri. Séisme de 2003, Boumerdes, Algérie



FIGURE 1.10 : Perte d'un étage de la mairie de Kobe (Séisme de Kobe (Japon) en 1995)

### 1.2.3 Poteaux courts

Les poteaux courts, caractérisés par un élancement géométrique inférieur à 5, présentent souvent des efforts de cisaillement significatifs, comme le souligne l'article 7.4.3.2 du RPA 99 version 2003. Ce type de poteau est particulièrement vulnérable aux dommages causés par des efforts de cisaillement cycliques en présence d'un faible moment fléchissant sous une charge axiale de compression très élevée. Cette situation peut conduire à un échec explosif du poteau, où l'on observe d'abord l'éclatement de la surface extérieure du béton, sans endommager les armatures, suivi par l'écrasement du béton, la rupture des cadres et le flambement des armatures. Ces phénomènes peuvent souvent entraîner l'effondrement total du bâtiment.

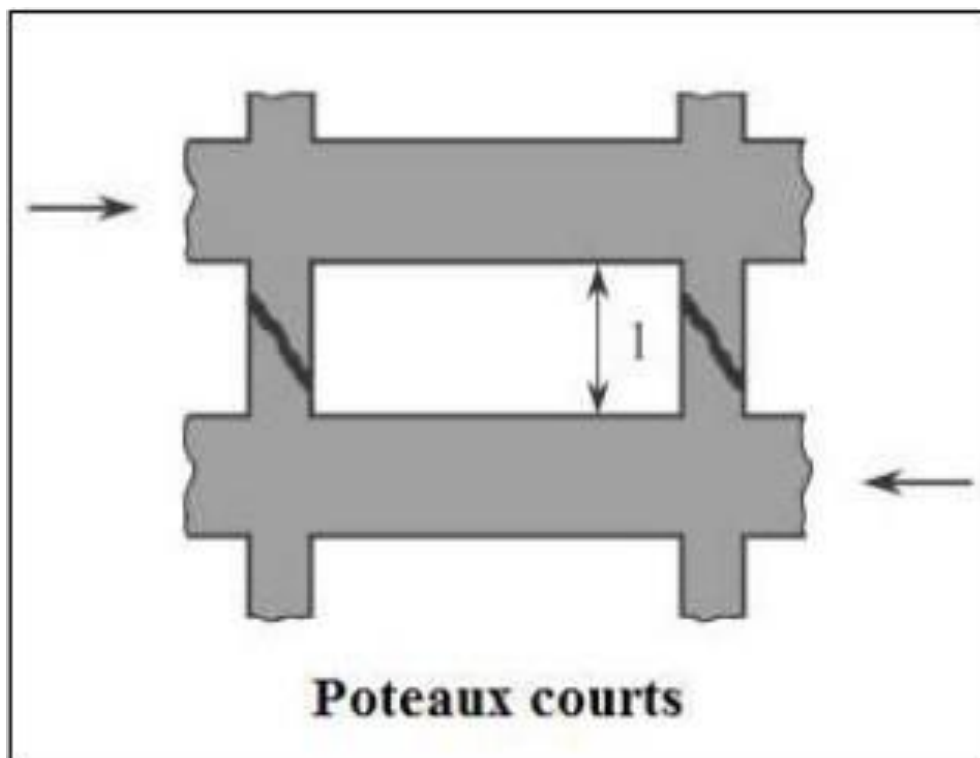


FIGURE 1.11 : Poteau court



FIGURE 1.12 : Destruction des poteaux à cause du fonctionnement en "poteaux courts", séisme de 2003 Boumerdes



FIGURE 1.13 : Détail de destruction des poteaux à cause du fonctionnement en "poteaux courts"

## 1.2.4 Présentation des problèmes pathologiques en présences des voiles

### 1.2.4.1 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.



FIGURE 1.14 : 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

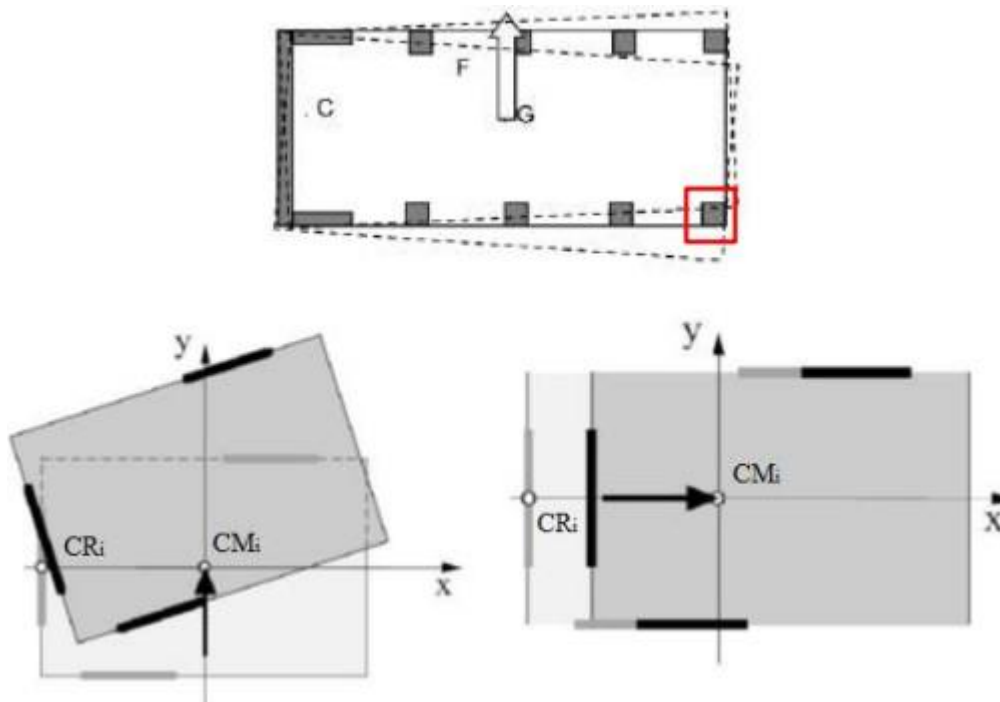


FIGURE 1.15 : Bâtiment asymétrique

- a. **Centre de masse CM<sub>i</sub>** : 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. Pour un bâtiment soumis à un séisme, on a :

$$x_{cm} = \frac{\sum m_i x_{ci}}{\sum m_i}$$

$$y_{cm} = \frac{\sum m_i y_{ci}}{\sum m_i}$$

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

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

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

$$x_{CT} = \frac{\sum K_{yi} \cdot x_{Ti}}{\sum K_{yi}}$$
$$y_{CT} = \frac{\sum K_{xi} \cdot y_{Ti}}{\sum K_{xi}}$$

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

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

$\{x_{Ti}, y_{Ti}\}$  : Les coordonnées de la position du centre de torsion CT<sub>i</sub> 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 :

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

Avec :

$h$  : La hauteur d'étage.

$E$  : Module de Young.

$I$  : Moment d'inertie.

## 1.3 Étude et Classification des Séismes

### 1.3.1 Définition de séisme

Les séismes sont des phénomènes naturels qui peuvent avoir des conséquences importantes sur la vie humaine et les structures. Il est important de comprendre les causes et les effets des séismes pour pouvoir se protéger et réduire les risques .

### 1.3.2 Évaluation du séisme

L'échelle de Richter a été instaurée en 1935. Elle nous fournit ce qu'on appelle la magnitude d'un séisme, calculée à partir de la quantité d'énergie dégagée au foyer. Elle se mesure sur une échelle logarithmique ouverte ; à ce jour, le plus fort séisme a atteint 9,5 sur l'échelle de Richter (Chili), Le graphique qui suit met en relation, la magnitude des séismes, sur échelle arithmétique, et l'énergie dégagée au foyer, sur échelle logarithmique, il présente aussi une comparaison entre quelques séismes les plus connus :

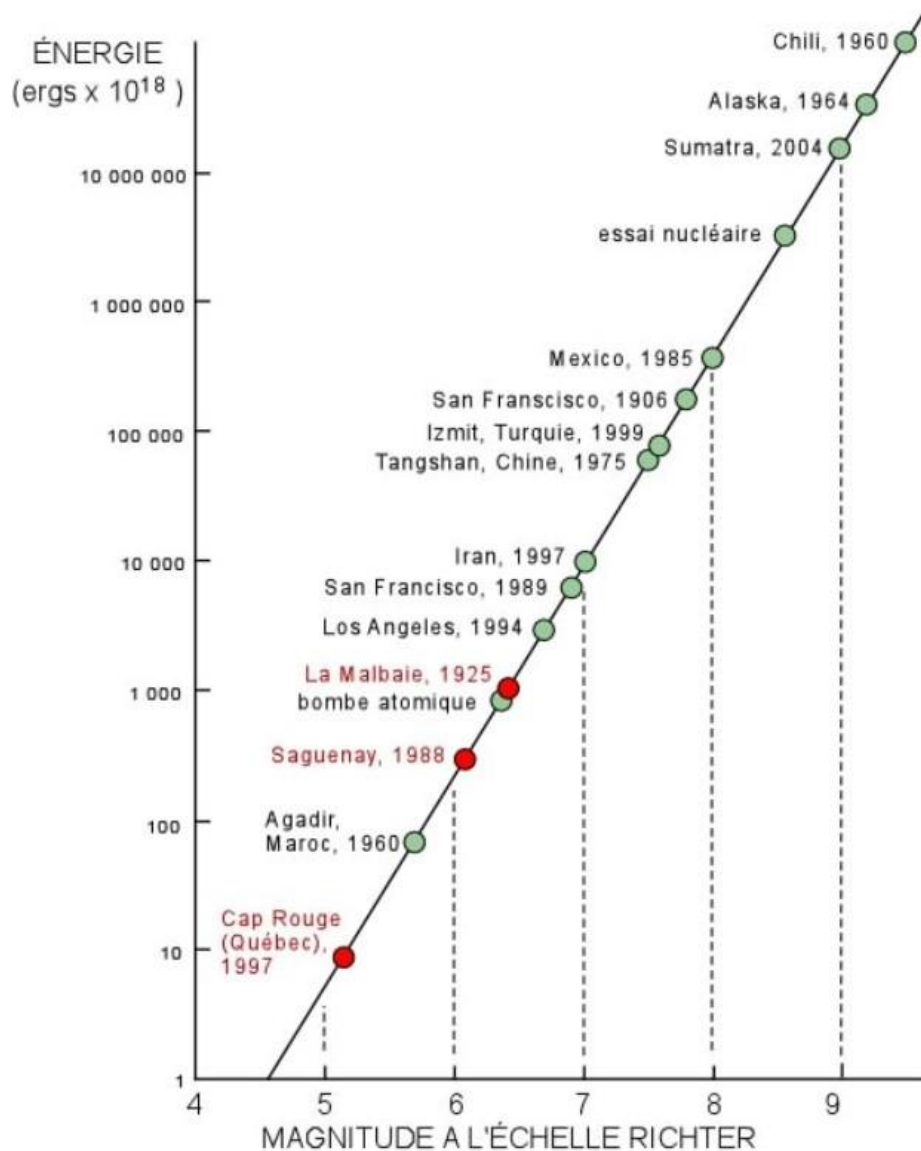


FIGURE 1.16 : Magnitude à l'échelle richter

### 1.3.3 La source séisme

Les séismes, ou tremblements de terre, sont causés par la libération soudaine de l'énergie accumulée par les contraintes exercées sur les roches. Cette libération d'énergie se produit généralement lorsque les roches se rompent le long d'une faille, qui peut déjà exister. Les séismes peuvent également être provoqués par l'activité volcanique. Le point d'origine du séisme en profondeur est appelé le foyer, et sa projection à la surface de la Terre est l'épicentre. Les mouvements des roches près du foyer génèrent des vibrations élastiques, qui se propagent sous forme d'ondes sismiques à travers le globe.

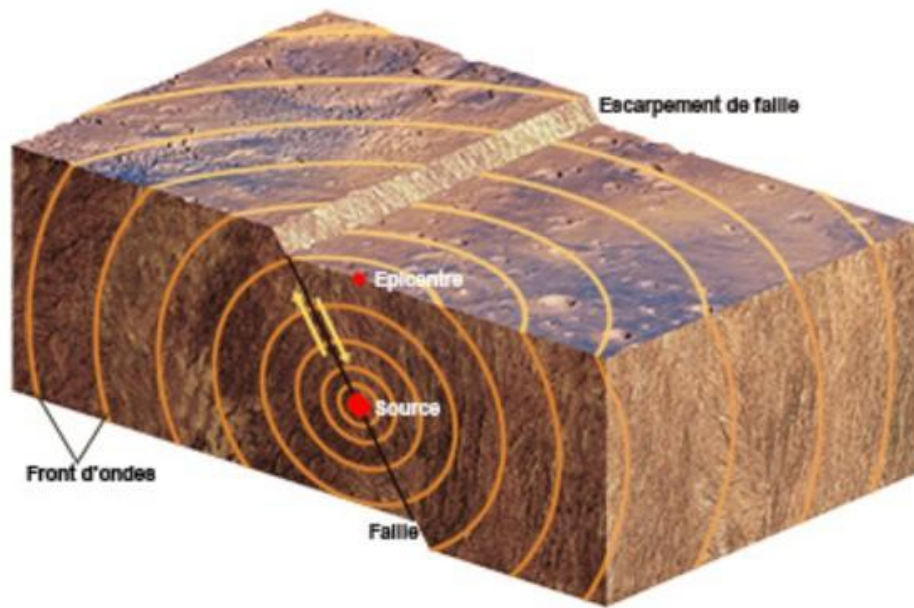


Figure 1.17 : Schéma d'un séisme montrant le foyer (source) et l'épicentre, ainsi que la propagation des ondes sismiques à travers la faille.

### 1.3.4 Classification des zones sismiques

Le territoire national (RPA) est divisé en quatre (04) zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones de sismicité et le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par commune, soit : Zone O : sismicité négligeable Zone I : sismicité faible Zone IIa et IIb : sismicité moyenne Zone III : sismicité élevée

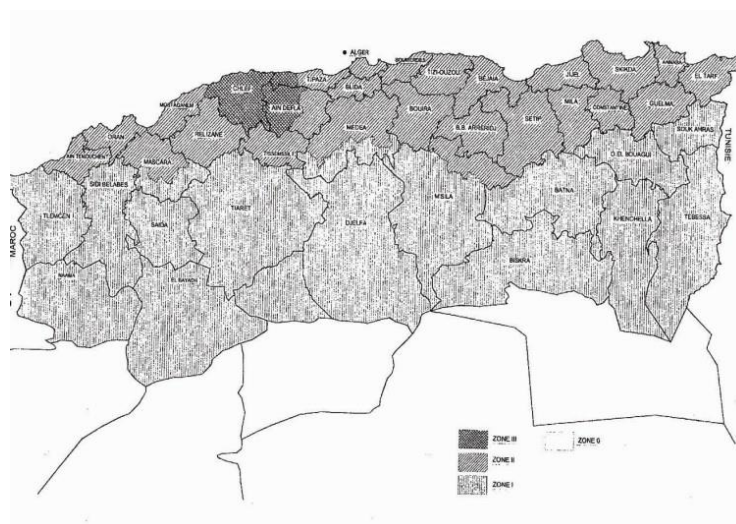


Figure 1.18 : Carte des zones de sismicité de l'Algérie

## Conclusion

La compréhension du comportement dynamique des bâtiments face aux sollicitations sismiques est cruciale pour assurer leur stabilité et la sécurité des occupants. Ce chapitre a permis de mettre en lumière les différents aspects influençant la réponse des structures aux tremblements de terre, notamment la configuration en plan, la distribution des rigidités et la gestion des déformations de torsion.

Il ressort que la symétrie en plan et la régularité des structures sont des facteurs déterminants pour minimiser les risques de torsion et d'effondrement. De plus, les pratiques de conception parasismique, telles que l'utilisation de voiles rigides et la limitation des niveaux souples, jouent un rôle vital dans la prévention des pathologies structurelles.

Les séismes, en raison de leur caractère imprévisible et de leur potentiel de destruction, nécessitent une approche rigoureuse et systématique dans la conception des bâtiments. Les normes de construction parasismique, comme celles définies par la réglementation algérienne RPA 99, offrent un cadre essentiel pour guider les ingénieurs dans l'élaboration de structures résilientes.

En conclusion, l'intégration de concepts avancés de dynamique des structures et de géotechnique dans la conception architecturale permet de créer des bâtiments capables de résister aux sollicitations sismiques, réduisant ainsi les risques de dommages et de pertes humaines. Les recherches futures devront continuer à explorer de nouvelles méthodes de renforcement et d'amélioration des techniques existantes pour faire face aux défis posés par les séismes de forte intensité.

---

# Présentation des éléments de l'étude

## Introduction

L'architecture moderne et le génie civil cherchent continuellement à innover et à améliorer la résilience des bâtiments face aux forces naturelles telles que les tremblements de terre. Cette étude se concentre sur l'utilisation de méthodes de modélisation numérique pour examiner l'influence de diverses formes en plan sur la réponse dynamique des bâtiments. En utilisant des logiciels de simulation structurelle de pointe (robot : sap2000), nous analysons plusieurs configurations typiques et moins conventionnelles, allant des formes rectangulaires simples aux configurations plus complexes comme les formes en L, T, ou circulaires. L'objectif est de déterminer comment ces différences de forme affectent les propriétés dynamiques telles que les périodes propres, les modes de vibration, et les réponses aux charges sismiques ou éoliennes. Les résultats de cette recherche ont pour but de fournir des directives améliorées pour la conception de bâtiments plus sûrs et plus efficaces, en tenant compte des implications pratiques et théoriques de la forme en plan dans la dynamique structurelle.

## 2.1 Description du bâtiment étudié

### 2.1.1 Caractéristiques géométriques

Il ya plusieurs caractéristiques géométriques d'un bâtiment R+5, voici quelques caractéristiques générales dans ce bâtiment :

#### 2.1.1.1 Hauteur

Un bâtiment R+5 a une hauteur totale de Six niveaux, comprenant le rez-de-chaussée et cinq supérieurs

La hauteur de chaque étage : 3.10 mètres

Hauteur totale de bâtiment : 18.36 mètres

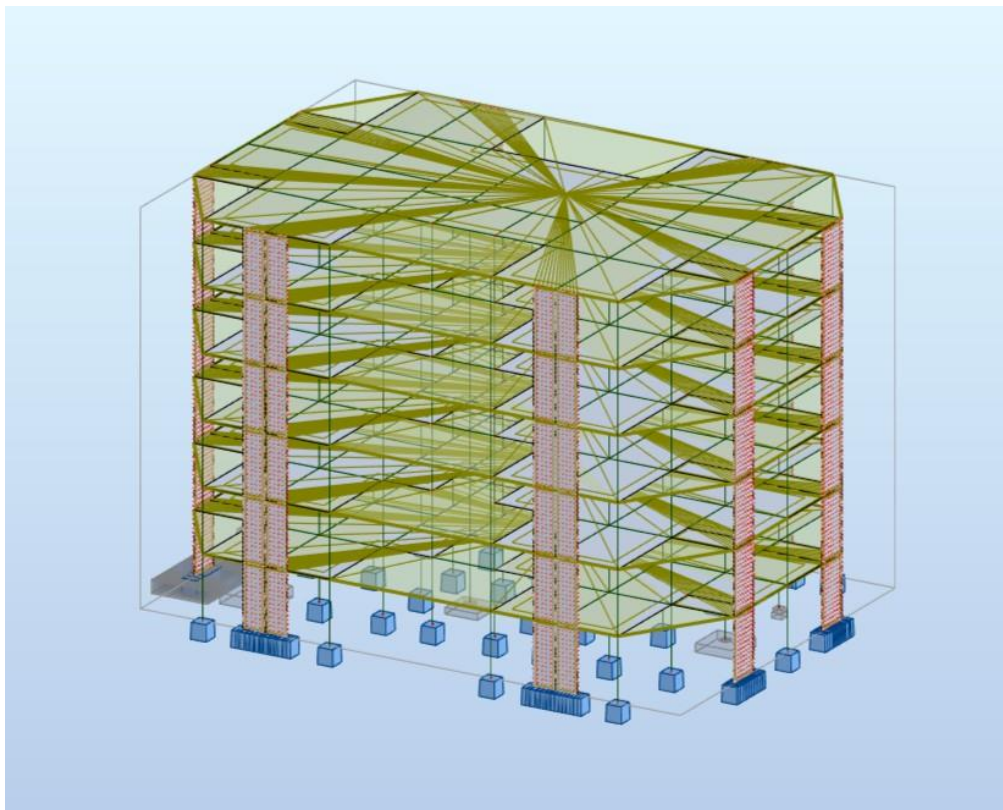


FIGURE 2.1 : Plan R+5

#### 2.1.1.2 Forme et plan

La structure et l'agencement d'un bâtiment R+5 peuvent différer selon le style architectural adopté. Certains bâtiments adoptent une forme rectangulaire ou carrée, alors que d'autres présentent des configurations plus élaborées avec des retraits ou des courbures.

Le bâtiment étudié a une forme rectangulaire, mesurant 27,24 mètres de long dans le sens X et 18,90 mètres de large dans le sens Y.

#### **2.1.1.3 Façade**

La façade d'un immeuble de cinq étages peut être élaborée avec une variété de matériaux, incluant le béton, la brique, le verre, ou des panneaux préfabriqués. Des fenêtres et des balcons peuvent être aménagés dans la façade pour fournir des vues panoramiques et des zones extérieures pour les résidents. Ce bâtiment est spécifiquement construit en béton armé.

#### **2.1.1.4 Toiture**

La toiture d'un immeuble de cinq étages peut adopter diverses formes, comme une structure plate, en pente, ou autres designs architecturaux uniques. Elle peut également servir à diverses fonctions, incluant des installations techniques, la création d'espaces verts ou l'aménagement de terrasses accessibles aux occupants. Pour ce bâtiment, la toiture est conçue de manière plate.

#### **2.1.1.5 Murs(voile)**

Les murs porteurs, étant des composantes verticales, soutiennent les charges verticales et latérales de la structure. Dans notre cas, nous disposons d'un mur porteur, ou voile, mesurant 1,10 mètres on X, et 1,70 mètres on Y ,3,06 mètres de hauteur et 20 cm d'épaisseur.

#### **2.1.1.6 Planchers**

Les planchers sont des éléments horizontaux qui séparent les différents niveaux d'une construction. Ils supportent leur propre poids ainsi que les charges d'exploitation, cette planchers et conçu en corps creux type (16+4)

#### **2.1.1.7 Les poutres**

Qu'elles soient horizontales ou inclinées, jouent un rôle crucial dans la structure en supportant les charges et en les redistribuant vers les murs ou les colonnes. Dans cette configuration, les poutres principales 30\*40 CM et secondaires 30\*35CM

#### **2.1.1.8 Les poteaux**

Jouent un rôle essentiel en supportant les charges verticales et en les redirigeant vers les fondations. Dans ce bâtiment, il existe un type de poteaux, chacun avec une section de 40 cm par 40 cm.



bureaux. Il peut également comporter des espaces de stationnement pour les véhicules.

### **2.1.2.2 Étages supérieurs**

Les étages supérieurs sont destinés aux logements résidentiels. Chaque étage peut comporter plusieurs appartements, avec différentes configurations et tailles. Les appartements peuvent être disposés en rangées le long des couloirs ou en plan ouvert avec des espaces de vie connectés.

### **2.1.2.3 structure**

La structure du bâtiment R+5 6est typiquement réalisée en béton armé, ce qui assure robustesse et stabilité. Les colonnes et les poutres en béton portent les charges des planchers et des murs extérieurs, qui peuvent être constitués de béton, de brique ou de panneaux préfabriqués

### **2.1.2.4 Équipements et aménagements**

Les immeubles R+5 sont souvent pourvus d'ascenseurs pour faciliter l'accès aux étages, ainsi que d'escaliers de secours pour la sécurité en cas d'urgence. Les logements peuvent bénéficier de balcons, de terrasses ou même de jardins privés, enrichissant ainsi les espaces extérieurs disponibles.

### **2.1.2.5 Réglementations et normes**

La construction de ces bâtiments doit respecter des réglementations et normes spécifiques en matière de sécurité, incluant la résistance sismique, la ventilation, ainsi que l'isolation thermique et acoustique (RPA. . .)

## **2.1.3 Caractéristiques structurelles**

### **2.1.3.1 Systèmes de contreventement**

Le contreventement de ce bâtiment est assuré par des voiles en béton armé intégrés aux structures en portiques. Donc le système est Mixte portiques/voiles avec interaction selon (RPA99version 2003)

### **2.1.4 Règles de calcul et logicielles adoptés**

DTR BC2.22 pour l'évaluation des charges permanentes et les surcharges d'exploitation

DTR BC2.41 et son homologue français BAEI91(MOD99) ou Européen EC2 pour la conception et la vérification des éléments en béton armé  
RPA99 v2003 pour la conception parasismique du bâtiment

## **2.2 Logiciels utilisés**

Robot Structural analysais, développé par Autodesk, est un logiciel essentiel pour la conception et l'analyse de structures dans le secteur du génie civil et de la construction. Il permet d'analyser la résistance et la stabilité des structures. Voici une vue d'ensemble de ses principales fonctionnalités :

### **2.2.1 Modélisation de Structures**

: Ce logiciel permet de concevoir des modèles 3D détaillés incluant divers éléments structuraux tels que poutres, colonnes, dalles, murs et treillis. L'interface utilisateur facilite la définition de la géométrie, des matériaux et des conditions limites.

### **2.2.2 Analyses Statique et Dynamique**

: Il supporte les analyses statiques, linéaires et non linéaires, ainsi que les analyses dynamiques pour examiner les réponses des structures face à diverses charges, incluant les charges permanentes, le vent, les séismes, et les charges temporaires de construction

### **2.2.3 Calcul des Charges**

Robot Structural Analysais offre des outils pour le calcul automatique des charges basées sur les normes de construction, permettant également l'application de charges personnalisées et la visualisation de leurs impacts.

### **2.2.4 Calcul des Déformations et Contraintes**

Le logiciel réalise des calculs précis sur les déformations et contraintes, fournissant des diagrammes pour chaque élément, ce qui aide à évaluer la performance et la sécurité de la structure.

### **2.2.5 Vérification de la Résistance et de la Stabilité**

: Il procède à des analyses approfondies pour vérifier la résistance des éléments structuraux contre la flexion, la compression, la torsion et le flambement, identifiant les zones critiques susceptibles de défaillance.

## 2.2.6 Analyse des Fondations

Le logiciel analyse aussi les fondations, y compris les semelles, les pieux et les puits, en tenant compte des interactions sol-structure et en fournissant des données sur les contraintes, les tassements et la stabilité

## 2.2.7 Intégration avec Autres Logiciels

Robot Structural Analysais peut s'intégrer à d'autres logiciels de conception comme Autodesk Revit et AutoCAD, améliorant ainsi le flux de travail et l'échange de données entre les différentes étapes de la conception. Robot Structural Analysais est un outil précieux pour les ingénieurs civils, offrant des capacités avancées pour l'analyse et la conception de structures, ce qui contribue à la précision des calculs et à la sûreté des constructions.

## 2.3 Evaluation des charges et surcharges

### 2.3.1 Charges permanentes et surcharges d'exploitation

Selon DTR BC 2.2 :

étage	Charge Permanente	charge exploitation
terrasse inaccessible	G= 0.62 ton	Q=0.10 ton
étage courant	G= 0.54 ton	Q=0.15 ton
dale plainer	G= 0.32 ton	Q=0.15 ton
acroter	G= 0.17 ton	Q=0.00 ton

TABLEAU 2.1 : Charges par étage

## **2.3.2 Charges sismiques**

La méthode dynamique pour le calcul des charges sismiques selon le RPA 99 version 2003 (Règles Parasismiques Algériennes) est une approche utilisée pour évaluer la réponse des structures sous l'action sismique. Elle prend en compte les caractéristiques dynamiques de la structure, telles que la masse, la rigidité et les propriétés d'amortissement. Voici un aperçu général des étapes et des considérations impliquées dans cette méthode

### **2.3.2.1 Définition du Spectre de Réponse**

Le spectre de réponse sismique est défini en fonction de la zone sismique, du type de sol, et de l'importance de la structure. Ce spectre indique l'accélération spectrale pour différentes périodes de vibration de la structure.

### **2.3.2.2 Modélisation de la Structure**

La structure est modélisée en tenant compte de sa masse, de sa rigidité et de son amortissement. Cette modélisation peut être réalisée à l'aide de logiciels d'analyse structurelle comme Autodesk Robot Structural analysis.

### **2.3.2.3 Calcul des Modes Propres**

Il est crucial de déterminer les fréquences propres et les modes de vibration de la structure. Cette étape est essentielle pour comprendre comment la structure va réagir aux différentes composantes du mouvement sismique

### **2.3.2.4 Application des Forces Sismiques**

Les forces sismiques sont appliquées à la structure en fonction des accélérations obtenues du spectre de réponse, ajustées selon les modes de vibration de la structure.

### **2.3.2.5 Analyse des Résultats**

L'analyse des résultats comprend l'évaluation des déplacements, des forces internes et des contraintes dans les éléments structurels pour vérifier si la structure respecte les exigences de performance sismique définies par le RPA 99.

### **2.3.2.6 Vérification de la Sécurité Structurelle**

La dernière étape consiste à vérifier que la structure peut résister aux sollicitations sismiques calculées sans subir de dommages qui compromettraient sa sécurité ou son usage prévu. Cette méthode dynamique est généralement requise pour les structures complexes

ou importantes, là où une simple analyse statique équivalente ne suffit pas à capturer avec précision la réponse sismique. Elle permet une compréhension plus détaillée et plus réaliste du comportement de la structure sous l'effet des séismes.

## **2.4 Les facteurs sismiques de calcul pour l'évaluation de la charge sismique dans notre cas**

### **2.4.1 Importance du bâtiment**

Notre bâtiment appartient à la catégorie des ouvrages abritant fréquemment de grands rassemblements de personnes

- Bâtiments recevant du public et pouvant accueillir simultanément plus de 300 Personnes tels que grande mosquée, bâtiments à usage de bureaux, bâtiments Industriels et commerciaux, scolaires, universitaires, constructions sportives et Culturelles, pénitenciers, grands hôtels.
- Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur dépasse 48 m.
- Ouvrages publics d'intérêt national ou ayant une importance socio-culturelle et Économique certaine.
- Bâtiments de bibliothèque ou d'archives d'importance régionale, musée, etc.
- Bâtiments des établissements sanitaires autres que ceux du groupe 1A. Bâtiments de centres de production ou de distribution d'énergie autres que ceux du Groupe 1A • Châteaux d'eau et réservoirs de grande à moyenne importance
- Et dans ce cas : GROUPE 1B

### **2.4.2 COEFFICIENT DE COMPORTEMENT R**

Ce bâtiment est système mixte portiques/voiles et dans RPA99V2003 la valeur de  $R=5$

### **2.4.3 COEFFICIENT D'ACCELERATION DE ZONE A**

Ce bâtiment est classe usage 1B est zone IIA alors la valeur de  $A=0,20$

### **2.4.4 Facteur de correction d'amortissement $\eta$**

pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages. Quant  $\eta = 7\%$ , on a  $\eta = (7 : 2) + 0,88$

## 2.4.5 facteur de qualité Q

Le facteur de qualité de la structure est fonction de la redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent, la régularité en plan et en élévation, la qualité du contrôle de la construction, La valeur de Q est déterminée par la formule :  $Q = 1 + Pq$

## 2.5 facteur d'amplification dynamique moyen

facteur d'amplification dynamique moyen en fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement ( $\eta$ ) et de la période fondamentale de la structure

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & \text{Si } 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta \frac{T_2}{T}^{2/3} & \text{Si } T_2 \leq T \leq 3.0 \text{ sec} \\ 2.5\eta T_2^{2/3} \cdot 3.0^{5/3} \frac{1}{T} & \text{Si } T > 3.0 \text{ sec} \end{cases}$$

Quant  $\eta = 7\%$ , on a  $\eta = 0.88$   $D = 2.2$

### 2.5.1 poids total de la structure

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{avec} \quad W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

$W_i$  : est égal à la somme des poids

$W_{Gi}$  : poids du aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure.

$W_{Qi}$  charge d'exploitation.

$\beta$  : coefficient de pondération, fonction de la durée de la charge d'exploitation,

$$\beta = 0.2$$

Selon Evaluation des charges et surcharges la valeur de  $W = 2710.12 \text{ TON}$

## Conclusion

L'étude réalisée dans ce chapitre met en évidence l'importance cruciale de la modélisation numérique dans l'évaluation de la réponse dynamique des bâtiments soumis à des forces sismiques et éoliennes. En analysant différentes configurations géométriques, de la forme rectangulaire classique aux structures plus complexes en L et T, nous avons pu démontrer que la forme en plan a une influence significative sur les propriétés dynamiques telles que les périodes propres et les modes de vibration.

Les résultats obtenus à l'aide de logiciels de simulation avancés comme Robot Structural Analysis ont montré que les formes non conventionnelles peuvent offrir des avantages ou des inconvénients spécifiques en termes de distribution des charges et de résistance sismique. Ces conclusions soulignent l'importance de choisir judicieusement la forme en plan dès la phase de conception pour optimiser la performance structurelle et la sécurité des bâtiments.

En outre, l'analyse des systèmes de contreventement a révélé que l'intégration de voiles en béton armé dans les structures en portiques peut absorber efficacement les charges horizontales, améliorant ainsi la stabilité globale de l'édifice. La nécessité de vérifier les portiques sous des charges horizontales, en particulier dans les zones sismiques de niveau III, a été confirmée, soulignant les exigences rigoureuses de conception sismique selon les normes RPA99.

L'approche dynamique pour le calcul des charges sismiques adoptée dans cette étude permet une compréhension plus fine et plus réaliste du comportement des structures face aux séismes. La modélisation précise, la détermination des modes propres, et l'application des forces sismiques selon le spectre de réponse sont des étapes essentielles pour garantir la sécurité et la robustesse des bâtiments.

---

# Etude numérique

## Introduction

### 3.1 Objectif

L'objectif du présent chapitre est d'analyser l'effet du mouvement sismique sur la réponse dynamique des bâtiments étudiés

Dans les paragraphes suivants, nous allons présenter les résultats des analyses sismiques effectuées sur la structure. Ces analyses ont permis de déterminer les périodes propres, les efforts sismiques à la base, les déplacements au sommet et inter-étages de la structure, ainsi que de vérifier sa résistance au renversement. De plus, nous présenterons les efforts internes dans certains éléments spécifiques de la structure pour tous les cas de charge sismique étudiés.

## 3.2 BLOC RECTANGULAIRE

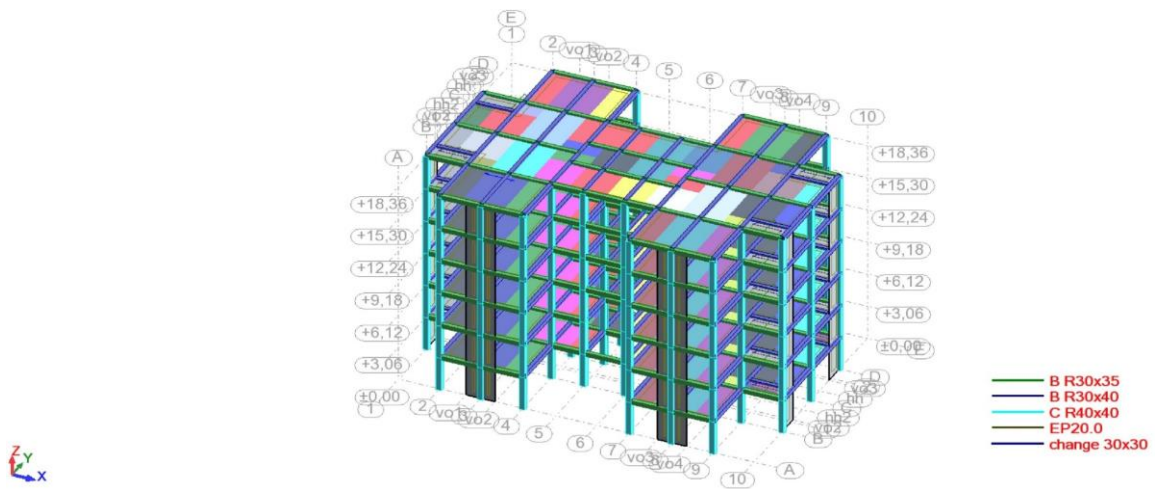


Figure 3.1 : Forme RECTANGULAIRE

### 3.2.1 Estimation de la période fondamentale de la structure

Les périodes propres d'une structure représentent les fréquences naturelles auxquelles elle vibre lorsqu'elle est soumise à une excitation dynamique. La connaissance des périodes propres est importante pour l'évaluation du comportement sismique de la structure, car elles déterminent la façon dont la structure va résonner avec les ondes sismiques. Après analyse de la structure par ROBOTS, Les réactions d'appuis sont déterminées aux appuis nodaux. Le résultat obtenu après chaque variation d'angle est présenté dans tableau suivante

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]
3/1	1,68	0,59
3/2	1,77	0,56
3/3	2,20	0,45
3/4	5,89	0,17
3/5	6,27	0,16
3/6	8,37	0,12
3/7	12,33	0,08
3/8	13,17	0,08
3/9	14,67	0,07
3/10	14,76	0,07

TABLEAU 3.1 : Fréquences et périodes pour différents modes

### 3.2.2 Réaction sismique à la base

#### 3.2.2.1 Déplacement

Les déplacements au sommet et inter-étages de la structure représentent les mouvements horizontaux et verticaux de la structure lors d'un séisme. Ces déplacements sont importants à prendre en compte pour la conception des éléments non structuraux, tels que les cloisons et les plafonds.

ETAGE	déplacement du aux force sismique		déplacement absolu	
	$\delta_{we}$	$\delta_k$	$\delta_{ab}$	$\delta_k$
RDC	0.1	0.1	0.5	0.5
1	0.3	0.3	1.5	1.5
2	0.5	0.6	2.5	3
3	0.7	0.8	3.5	4
4	0.9	1	4.5	5
5	1.1	1.1	5.5	5.5

TABLEAU 3.2 : Déplacements dus aux forces sismiques et déploiements absolus

Sens X-X :

Niveau	$P_k$ (TON)	$\Delta_k$ (cm)	$V_k$ (TON)	$h_k$
1	2121,3	0,1	168,84	3,06
2	1772,04	0,3	159,89	6,12
3	1429,33	0,5	144,41	9,18
4	1085,8	0,7	122,63	12,24
5	742,27	0,9	91,35	15,30
6	398,74	1,1	72,82	18,36

TABLEAU 3.3 : Données pour différents niveaux en sens X-X

SENS Y-Y :

Niveau	$P_k$ (TON)	$\Delta_k$ (cm)	$V_k$ (TON)	$h_k$
1	2121,3	0,1	162,21	3,06
2	1772,04	0,3	154,57	6,12
3	1429,33	0,5	139,91	9,18
4	1085,8	0,7	118,09	12,24
5	742,27	0,9	88,43	15,30
6	398,74	1,1	84,76	18,36

TABLEAU 3.4 : Données pour différents niveaux en sens X-X

### 3.2.2.2 la force sismique

Les efforts sismiques à la base représentent les forces et moments transmis à la base de la structure par le sol lors d'un séisme. Ces efforts sont utilisés pour dimensionner les fondations de la structure.

L'effort dynamique a la base suivant le sensé X-X  $E_x(t) = 168.84 \text{ Ton.m}$

L'effort dynamique a la base suivant le sensé Y-Y  $E_y(t) = 162.21 \text{ Ton.m}$

L'effort Statique a la base suivant le sensé X-X  $V_x(t) = 214.675 \text{ Ton.m}$

L'effort Statique a la base suivant le sensé Y-Y  $V_y(t) = 214.675 \text{ Ton.m}$

### 3.2.2.3 Facteur de sécurité vis-à-vis du renversement

SENS X-X

Niveau	$F_k$ (Ton*m)	$h_k$ (m)	$F_k \times h_k$	$W_k$ (Ton)	$b_i$ (m)	$W_k \times b_i$
1	8,95	3,06	27,387	349,26	13,421	4687,418
2	15,48	6,12	94,7376	342,71	13,421	4599,511
3	21,78	9,18	199,9404	343,53	13,421	4610,516
4	31,28	12,24	382,8672	343,53	13,421	4610,516
5	18,53	15,3	283,509	343,53	13,421	4610,516
6	72,82	18,36	1336,9752	398,74	13,421	5351,49

TABLEAU 3.5 : Données DE renversement en sens X-X

$$\sum W_k \cdot b_i = 28469,967$$

$$\sum F_k \cdot h_k = 2325,4164$$

$$\Rightarrow \sum \frac{W_k \cdot b_i}{F_k \cdot h_k} = 12.243$$

Sens Y-Y

Niveau	$F_k$ (Ton*m)	$h_k$ (m)	$F_k \times h_k$	$W_k$ (Ton)	$b_i$ (m)	$W_k \times b_i$
1	7,64	3,06	23,3784	349,26	9,24	3227,162
2	14,66	6,12	89,7192	342,71	9,24	3166,64
3	21,82	9,18	200,3076	343,53	9,24	3174,217
4	29,66	12,24	363,0384	343,53	9,24	3174,217
5	3,67	15,3	56,151	343,53	9,24	3174,217
6	84,76	18,36	1556,1936	398,74	9,24	3684,358

TABLEAU 3.6 : Données DE renversement en sens Y-Y

$$\sum W_k \cdot b_i = 19600,812$$

$$= \sum F_k \cdot h_k = 2288,7882$$

$$\Rightarrow \sum \frac{W_k \cdot b_i}{F_k \cdot h_k} = 8,564 \text{ m}$$

### 3.2.3 Efforts dans la poutre (30x40)

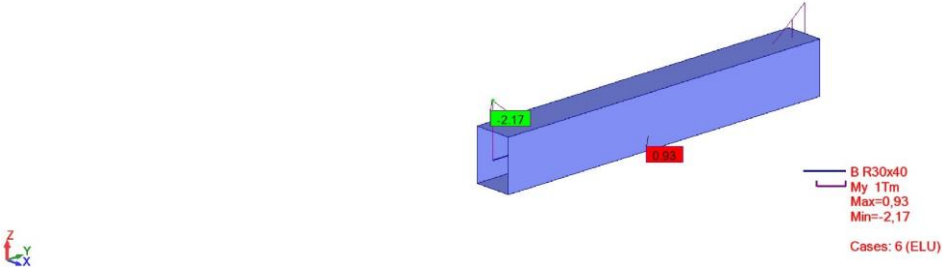


FigUre 3.2 : cas 1,1

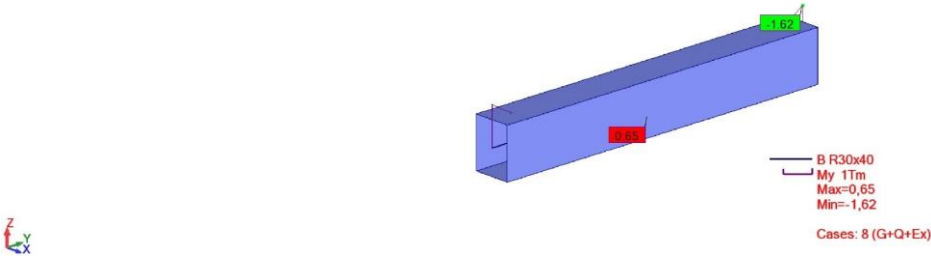


FigUre 3.3 : cas 1,2

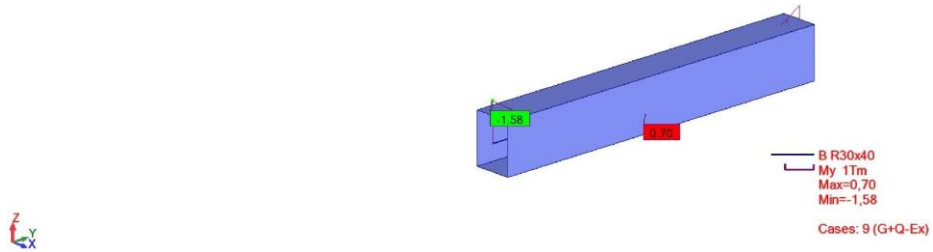


FigURE 3.4 : cas 1,3

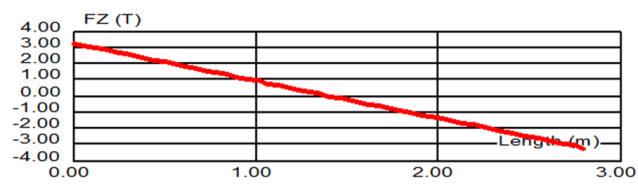


FigURE 3.5 : diagramme MY FORME RECT

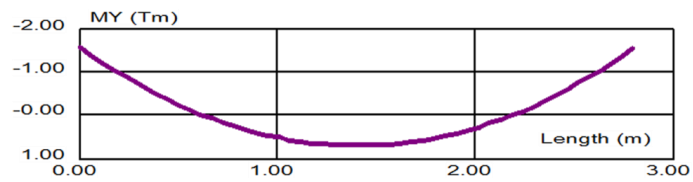


FigURE 3.6 : diagramme FZ FORME RECT

Barre/Noeud/Cas	FZ (T)	MY (Tm)
860/368/16 (C) (CQC)	4,42	2,17
860/372/16 (C) (CQC)	3,23	-1,59
860/372/8 (C) (CQC)	3,24	-1,59
860/368/6 (C) (CQC)	3,22	-1,58
860/372/12 (C) (CQC)	4,45	-3,29
860/368/12 (C) (CQC)	2,01	0,12
860/372/7 (C)	2,29	-1,13
860/368/7 (C)	2,26	-1,11
860/368/18 (C) (CQC)	3,49	-2,83
860/372/18 (C) (CQC)	1,05	0,59
860/372/10 (C) (CQC)	3,25	-1,60
860/368/10 (C) (CQC)	3,21	-1,58
860/372/6 (C)	4,69	-3,63
860/368/6 (C)	1,77	0,46
860/372/11 (C) (CQC)	-4,41	-2,16
860/368/11 (C) (CQC)	3,22	-1,58
860/368/19 (C) (CQC)	-3,21	-1,62
860/372/19 (C) (CQC)	3,24	-1,58
860/368/20 (C)	2,01	-3,28
860/372/20 (C)	-4,44	0,13
860/368/14 (C) (CQC)	2,25	-1,16
860/372/14 (C) (CQC)	-2,28	-1,07
860/372/15 (C) (CQC)	-1,05	2,82
860/368/15 (C) (CQC)	3,49	0,59
860/368/9 (C) (CQC)	-3,21	-1,63
860/372/9 (C) (CQC)	3,24	-1,62
860/368/13 (C) (CQC)	-1,76	-3,62
860/372/13 (C) (CQC)	-4,69	0,47

TABLEAU 3.7 : Forces et moments en différents barres, noeuds et cas

### 3.2.4 Effort dans le poteau 40x40

Barre/Noeud/Cas	MY (Tm)	FX (T)	MZ (Tm)	Case name
764/339/16 (C) (CQC)	1,52	23,01	-0,37	G+Q-1.2Ex
764/283/16 (C) (CQC)	-1,62	25,38	-0,24	0.8G-Ex
764/339/12 (C) (CQC)	1,54	15,20	-0,25	G+Q+1.2Ey
764/283/12 (C) (CQC)	-0,06	31,94	0,64	G+Q-1.2Ex
764/339/18 (C) (CQC)	-0,01	8,64	-1,13	0.8G-Ex
764/339/14 (C) (CQC)	-1,96	34,20	-0,35	0.8G-Ey
764/283/18 (C) (CQC)	1,83	21,99	-0,38	0.8G-Ey
764/339/19 (C) (CQC)	-0,10	42,07	0,69	G+Q+1.2Ey
764/283/19 (C) (CQC)	-0,03	14,12	-1,42	0.8G+Ey
764/283/14 (C) (CQC)	2,97	24,23	0,18	G+Q+1.2Ey
764/339/15 (C) (CQC)	-2,92	26,36	0,13	0.8G+Ex
764/283/15 (C) (CQC)	2,96	16,18	0,12	G+Q+1.2Ex
764/339/13 (C) (CQC)	0,00	32,92	2,90	0.8G+Ey
764/283/13 (C) (CQC)	0,03	9,62	-2,66	G+Q+1.2Ey
764/339/17 (C) (CQC)	-3,50	35,43	0,19	0.8G+Ex
764/283/17 (C) (CQC)	3,56	23,22	0,18	G+Q+1.2Ex

TABLEAU 3.8 : Forces et moments en différents barres, noeuds et cas

### 3.2.5 Effort dans le voile ep=20cm

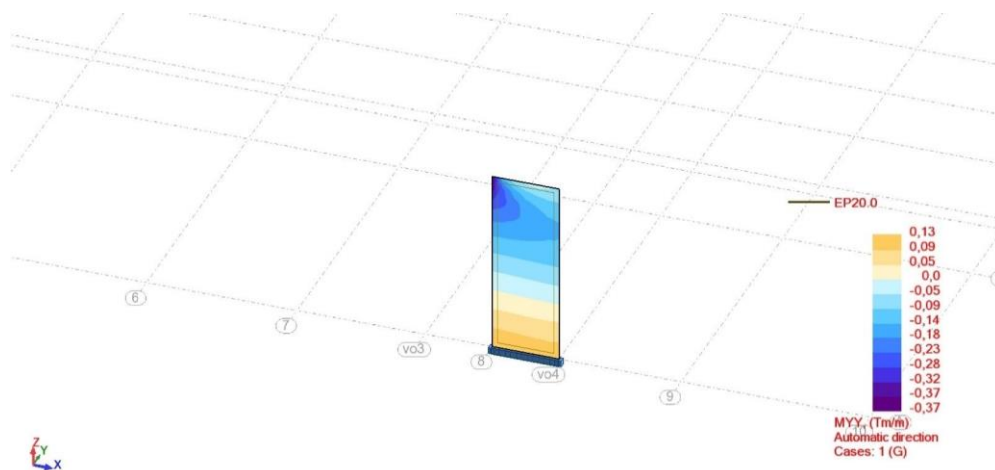


Figure 3.7 : Voile forme rectangulaire

Barre/Noeud/Cas	MXX [Tm/m]	MYY [Tm/m]	NXX [T/m]	NYX [T/m]	QXX [T/m]	QYY [T/m]
956/14/10 (C) (CQC)	0,22	1,12	39,47	191,11	2,01	1,48
956/120/10 (C) (CQC)	0,22	1,10	38,26	185,05	1,86	1,27
956/109/10 (C) (CQC)	0,22	1,11	33,59	170,42	1,60	1,24
956/120/14 (C) (CQC)	0,22	1,10	31,82	164,63	1,53	1,22
956/109/14 (C) (CQC)	0,22	1,04	26,46	151,60	1,48	1,12
956/110/10 (C) (CQC)	0,20	1,01	22,62	151,60	1,23	0,97
956/110/14 (C) (CQC)	0,20	1,00	21,46	142,77	1,19	0,93
956/119/10 (C) (CQC)	0,19	0,96	17,66	138,46	1,12	0,91
956/125/10 (C) (CQC)	0,19	0,95	15,05	137,49	1,11	0,89
956/122/10 (C) (CQC)	0,19	0,96	14,54	131,90	1,10	0,80
956/130/10 (C) (CQC)	0,19	0,95	14,06	128,93	1,10	0,76
956/106/10 (C) (CQC)	0,19	0,91	13,36	128,46	1,09	0,73
956/119/14 (C) (CQC)	0,18	0,94	12,66	127,13	1,02	0,68
956/125/14 (C) (CQC)	0,18	0,92	12,66	127,13	1,02	0,68
956/130/14 (C) (CQC)	0,18	0,92	12,66	126,43	0,95	0,64
956/105/10 (C) (CQC)	0,18	0,91	11,83	125,80	0,90	0,63
956/109/10 (C) (CQC)	0,18	0,90	10,47	123,74	0,90	0,62
956/111/14 (C) (CQC)	0,17	0,92	9,62	123,74	0,83	0,60
956/14/8 (C) (CQC)	0,17	0,90	9,82	123,04	0,88	0,61
956/109/8 (C) (CQC)	0,17	0,91	9,58	121,50	0,80	0,56
956/122/14 (C) (CQC)	0,17	0,89	9,43	118,91	0,86	0,60
956/13/14 (C) (CQC)	0,17	0,89	8,97	118,54	0,85	0,60

TABLEAU 3.9 : Forces et moments en différents barres, noeuds et cas

### 3.3 BLOC L

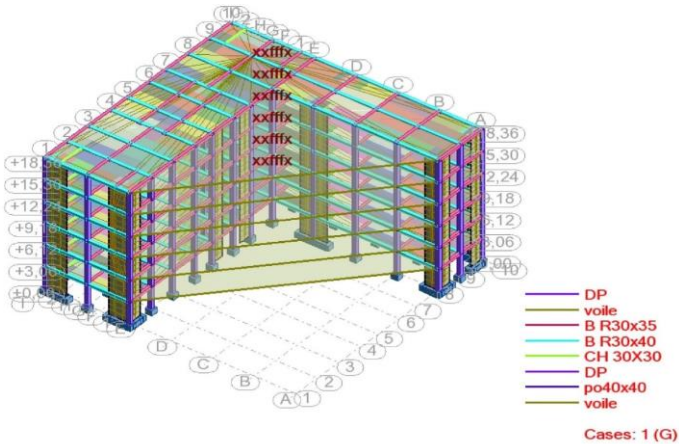


Figure 3.8 : Formes L

### 3.3.1 Estimation de la période fondamentale de la structure :

Cas/Mode	Frequency (Hz)	Période (sec)
3/1	2,07	0,48
3/2	2,11	0,47
3/3	2,67	0,37
3/4	7,25	0,14
3/5	7,66	0,13
3/6	10,02	0,10
3/7	14,75	0,07
3/8	14,82	0,07
3/9	15,53	0,06
3/10	16,33	0,06

TABLEAU 3.10 : Fréquence et période pour différents modes

## 3.4 Réaction sismique à la base

### 3.4.1 Déplacement

ETAGE	déplacement	déplacement	déplacement	déplacement
	du aux force	du aux force	absolus	absolus
RDC	0,1	0,1	0,5	0,5
1	0,3	0,3	1,5	1,5
2	0,5	0,5	2,5	2,5
3	0,7	0,7	3,5	3,5
4	0,9	0,9	4,5	4,5
5	1,1	1,1	5,5	5,5

TABLEAU 3.11 : Déplacements sismiques et absolus

Sens X-X :

Niveau	$P_k$ (kN)	$\Delta_k$ (cm)	$V_k$	$h_k$
1	2225,04	0,1	207,15	3,06
2	1859,91	0,3	197,76	3,06
3	1494,78	0,5	179,18	3,06
4	1129,65	0,7	150,13	3,06
5	764,52	0,9	110,83	3,06
6	399,39	1,1	75,9	3,06

TABLEAU 3.12 : Données pour différents niveaux en sens X-X

Sens Y-Y

Niveau	$P_k$ (kN)	$\Delta_k$ (cm)	$V_k$	$h_k$
1	2225,04	0,1	201,43	3,06
2	1859,91	0,3	175,28	3,06
3	1494,78	0,5	175,28	3,06
4	1129,65	0,7	147,28	3,06
5	764,52	0,9	111,46	3,06
6	399,39	1,1	85,33	3,06

TABLEAU 3.13 : Données pour différents niveaux en sens Y-Y

### 3.4.2 La force SISMIQUE

l'effort dynamique a la base suivant le sense X-X  $E_x(t)=207,15\text{TON}\cdot\text{m}$

l'effort dynamique a la base suivant le sense Y-Y  $E_y(t)=201,43\text{TON}\cdot\text{m}$

l'effort Statique a la base suivant le sense X-X  $V_x(t)=219.30\text{TON}\cdot\text{m}$

l'effort Statique a la base suivant le sense Y-Y  $V_y(t)=219.30\text{TON}\cdot\text{m}$

### 3.4.3 Facteur de sécurité vis-à-vis du renversement

Sens X-X

Niveau	$F_k$ (Ton*m)	$h_k$ (m)	$F_k \times h_k$	$W_k$ (Ton)	$b_i$ (m)	$W_k \times b_i$
1	9,39	3,06	28,7334	365,13	16,41	5993,244
2	18,58	6,12	113,7096	365,13	16,41	5993,244
3	29,05	9,18	266,679	365,13	16,41	5993,244
4	39,3	12,24	481,032	365,13	16,41	5993,244
5	34,93	15,3	534,429	365,13	16,41	5993,244
6	75,9	18,36	1393,524	399,39	16,41	6555,587

TABLEAU 3.14 : Données DE renversement en sens X-X

$$\sum W_k b_i = 41138,765 \quad (3.1)$$

$$\sum F_k h_k = 2800,7568 \quad (3.2)$$

$$\Rightarrow \sum \frac{W_k b_i}{F_k h_k} = 14.688 \quad (3.3)$$

Sens Y-Y

Niveau	$F_k$ (Ton*m)	$h_k$ (m)	$F_k * h_k$	$W_k$ (Ton)	$b_i$ (m)	$W_k * b_i$
1	6,93	3,06	21,2058	365,13	18,489	6750,889
2	19,22	6,12	117,6264	365,13	18,489	6750,889
3	28	9,18	257,04	365,13	18,489	6750,889
4	35,82	12,24	438,4368	365,13	18,489	6750,889
5	26,13	15,3	399,789	365,13	18,489	6750,889
6	85,33	18,36	1566,6588	399,39	18,489	7384,322

TABLEAU 3.15 : Données DE renversement en sens Y-Y

$$\sum W_k b_i = 41138,765$$

$$\sum F_k h_k = 2800,7568$$

$$\Rightarrow \sum \frac{W_k b_i}{F_k h_k} = 14,688$$

3.4.4 Efforts dans la poutre (30x40)

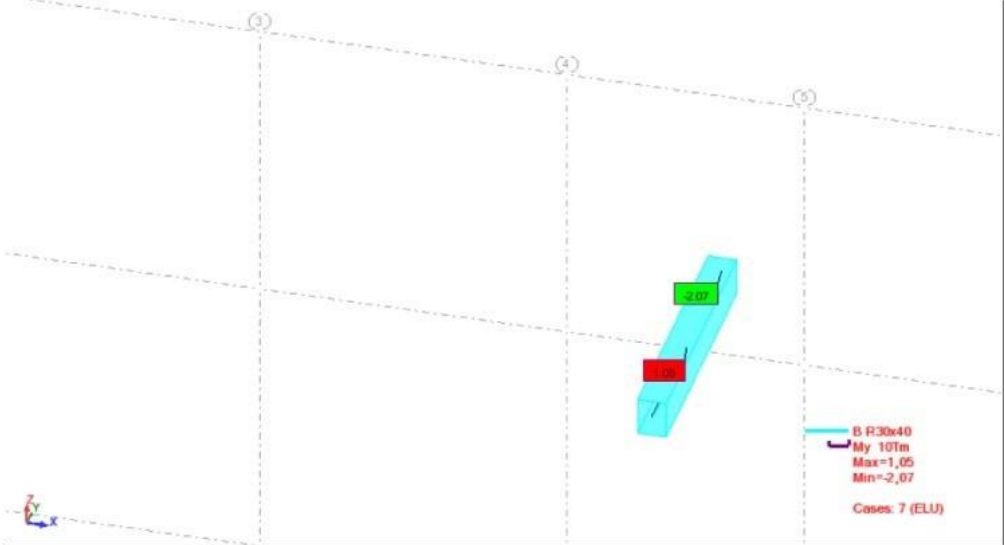


Figure 3.9 : cas 2.1

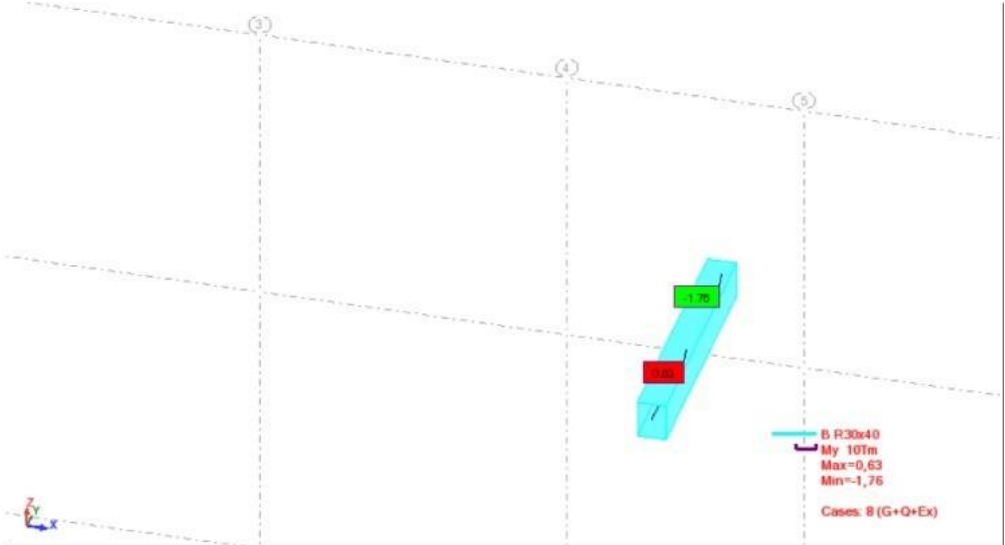


Figure 3.10 : cas 2.2

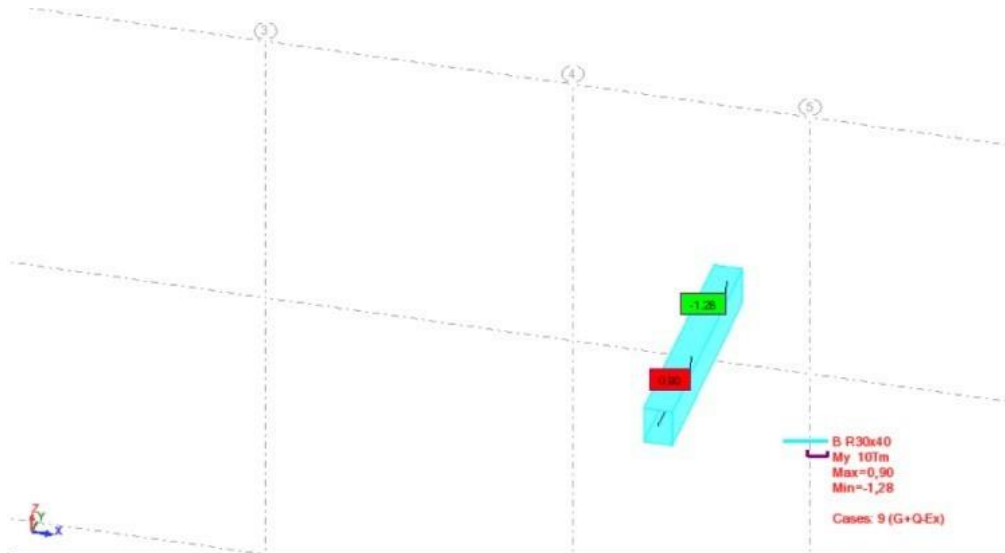


Figure 3.11 : cas 2.3

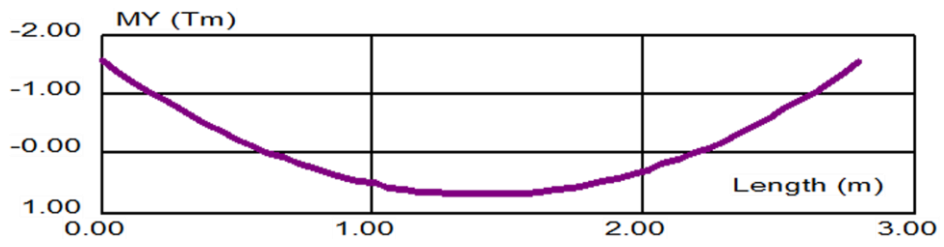


Figure 3.12 : diagramme MY FORME L

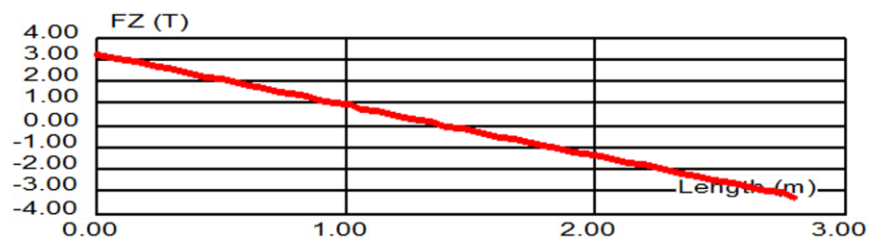


FIGURE 3.13 : diagramme FZ FORME L

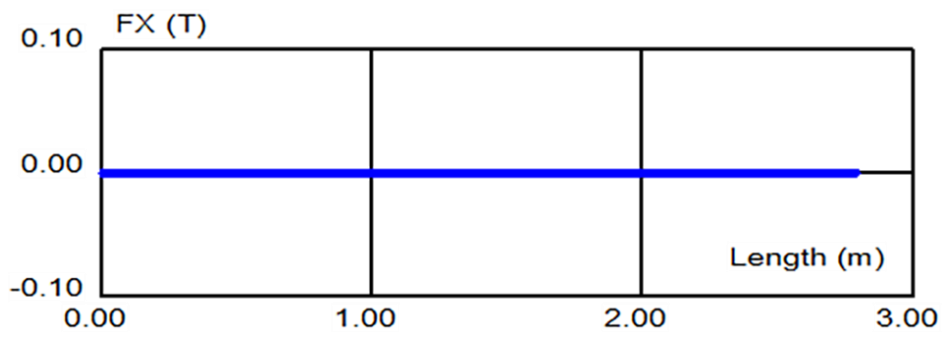


FIGURE 3.14 : diagramme FX FORME L

Barre/Noeud/Cas	FZ (T)	MY (Tm)
860/368/16 (C) (CQC)	3,25	-1,52
860/372/16 (C) (CQC)	4,44	-2,07
860/372/8 (C) (CQC)	3,37	-1,76
860/368/8 (C) (CQC)	3,12	-1,28
860/372/12 (C) (CQC)	4,43	-3,18
860/368/12 (C) (CQC)	2,06	0,15
860/372/7 (C) (CQC)	2,38	-1,46
860/368/7 (C)	2,18	-0,88
860/368/18 (C) (CQC)	3,23	-2,40
860/372/18 (C) (CQC)	1,33	0,26
860/372/10 (C) (CQC)	3,39	-1,80
860/368/10 (C) (CQC)	3,10	-1,23
860/372/6 (C)	4,67	-3,52
860/368/6 (C)	1,82	0,48
860/372/11 (C) (CQC)	3,09	-1,45
860/368/11 (C) (CQC)	-3,21	-1,47
860/368/19 (C) (CQC)	-4,39	-2,01
860/372/19 (C) (CQC)	-3,09	-1,66
860/368/20 (C)	-3,33	-1,27
860/372/20 (C)	-2,02	-3,12
860/368/14 (C) (CQC)	-4,40	0,19
860/372/14 (C) (CQC)	-2,16	-1,19
860/372/15 (C) (CQC)	-2,36	-0,88
860/368/15 (C) (CQC)	-1,31	-2,36
860/368/9 (C) (CQC)	-3,21	-0,29
860/372/9 (C) (CQC)	-3,06	-1,70
860/368/13 (C) (CQC)	-3,36	-1,23
860/372/13 (C) (CQC)	-1,79	-3,45

TABLEAU 3.16 : Forces en différents barres, noeuds et cas

### 3.4.5 Effort dans le poteau 40x40

Barre/Noeud/Cas	FX (T)	MY (Tm)	MZ (Tm)	Case name
764/339/16 (C) (CQC)	84,10	-3,54	0,45	G+Q+1.2Ex
764/283/16 (C) (CQC)	57,47	-2,34	0,30	0.8G-Ex
764/339/12 (C) (CQC)	52,76	-1,16	0,19	G+Q+1.2Ey
764/283/12 (C) (CQC)	36,42	-0,76	0,13	0.8G+Ex
764/339/18 (C) (CQC)	27,58	-0,23	2,57	G+Q+1.2Ey
764/339/14 (C) (CQC)	25,25	0,09	0,27	G+Q+1.2Ey
764/283/18 (C) (CQC)	19,79	1,07	0,17	0.8G+Ey
764/339/19 (C) (CQC)	18,08	0,07	0,17	0.8G+Ey
764/283/19 (C) (CQC)	8,56	0,40	-1,10	G+Q+1.2Ey
764/283/14 (C) (CQC)	7,60	0,52	-2,20	0.8G+Ey
764/339/15 (C) (CQC)	6,95	-0,47	0,15	0.8G+Ey
764/283/15 (C) (CQC)	6,47	0,36	-1,46	0.8G+Ey
764/339/13 (C) (CQC)	-11,39	1,11	0,44	0.8G+Ex
764/283/13 (C) (CQC)	-18,95	1,65	-0,65	G+Q-1.2Ex
764/339/17 (C) (CQC)	-31,21	2,57	-0,19	0.8G+Ex
764/283/17 (C) (CQC)	-48,92	3,83	-0,08	G+Q+1.2Ex

TABLEAU 3.17 : Forces et moments en différents barres, noeuds et cas

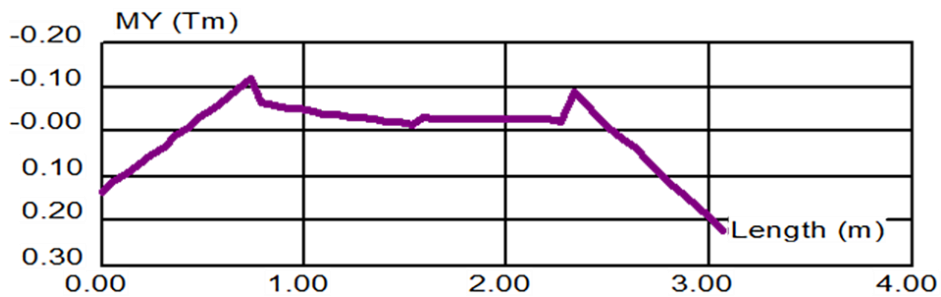


Figure 3.15 : diagramme MY FORME L

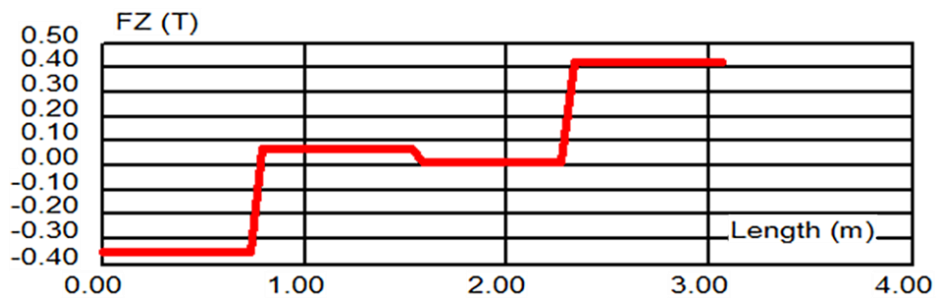


Figure 3.16 : diagramme FZ FORME L

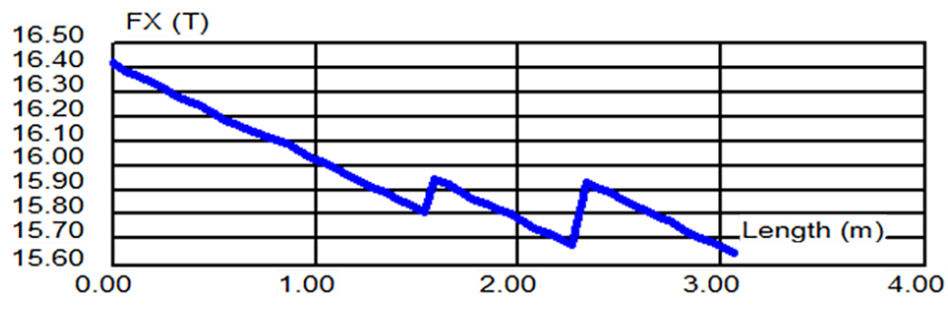


FigUrE 3.17 : diagramme FX FORME L

### 3.4.6 Effort dans le voile ep=20cm

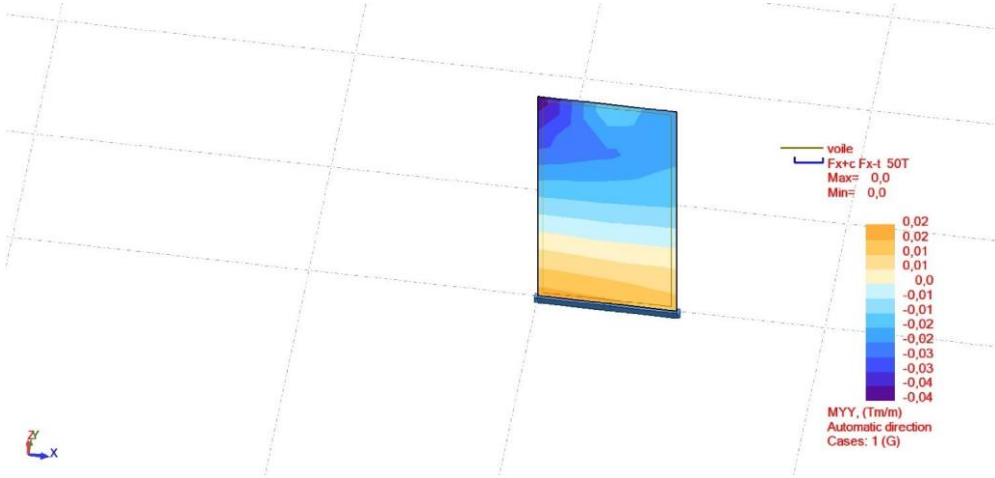


Figure 3.18 : VOILE FORME L

Barre/Noeud/Cas	MXX [Tm/m]	MYX [Tm/m]	NXX [T/m]	NYX [T/m]	QXX [T/m]	QYX [T/m]
956/14/10 (C) (CQC)	0,08	0,39	29,35	135,29	0,08	0,34
956/120/10 (C) (CQC)	0,07	0,34	27,28	126,86	0,08	0,30
956/109/10 (C) (CQC)	0,07	0,33	23,89	114,29	0,07	0,28
956/14/14 (C) (CQC)	0,06	0,30	19,34	109,92	0,07	0,25
956/120/14 (C) (CQC)	0,06	0,29	16,35	108,49	0,06	0,24
956/121/10 (C) (CQC)	0,05	0,27	11,23	92,59	0,06	0,23
956/109/14 (C) (CQC)	0,05	0,27	10,81	89,07	0,06	0,22
956/110/10 (C) (CQC)	0,05	0,26	10,74	81,38	0,06	0,20
956/121/14 (C) (CQC)	0,01	0,24	10,52	80,75	0,05	0,19
956/110/14 (C) (CQC)	0,05	0,23	9,66	75,16	0,05	0,18
956/119/10 (C) (CQC)	0,05	0,23	9,36	65,23	0,05	0,18
956/125/10 (C) (CQC)	0,04	0,21	9,36	53,28	0,05	0,18
956/111/10 (C) (CQC)	0,05	0,20	8,85	46,12	0,03	0,16
956/122/10 (C) (CQC)	0,01	0,20	8,72	44,20	0,03	0,15
956/13/10 (C) (CQC)	0,01	0,20	8,70	41,44	0,02	0,15
956/106/10 (C) (CQC)	0,04	0,18	8,52	39,13	0,02	0,15
956/119/14 (C) (CQC)	0,04	0,17	8,30	38,03	0,02	0,14
956/125/14 (C) (CQC)	0,04	0,17	8,12	37,51	0,02	0,14
956/103/10 (C) (CQC)	0,01	0,16	8,05	35,03	0,02	0,14
956/105/10 (C) (CQC)	-0,00	0,16	8,01	34,96	0,02	0,14
956/104/10 (C) (CQC)	0,00	0,15	7,76	34,76	0,02	0,13
956/93/10 (C) (CQC)	0,00	0,14	7,73	30,90	0,02	0,13
956/111/14 (C) (CQC)	0,06	0,14	7,63	30,10	0,02	0,13
956/14/8 (C) (CQC)	0,02	0,14	7,51	29,00	0,02	0,12
956/120/8 (C) (CQC)	0,03	0,14	7,34	29,67	0,02	0,12

TABLEAU 3.18 : Forces et moments en différents barres, noeuds et cas

## 3.5 FORME T

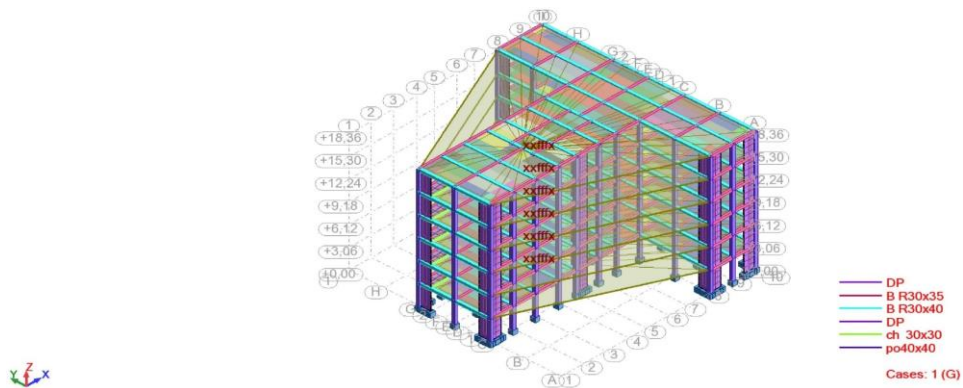


Figure 3.19 : PLAN Formes T

### 3.5.1 Estimation de la période fondamentale de la structure

Cas/Mode	Fréquence (Hz)	Période (sec)
3/1	1,78	0,56
3/2	2,01	0,50
3/3	2,35	0,42
3/4	6,18	0,16
3/5	6,96	0,14
3/6	8,57	0,12
3/7	12,73	0,08
3/8	14,23	0,07
3/9	14,53	0,07
3/10	15,46	0,06

TABLEAU 3.19 : Fréquence et période pour différents modes

## 3.6 Réaction sismique à la base

### 3.6.1 Déplacement

ETAGE	déplacement	déplacement	déplacement	déplacement
	Du aux force	Du aux force	Absolus	Absolus
RDC	0,1	0,1	0,5	0,5
1	0,3	0,4	1,5	2
2	0,5	0,7	2,5	3,5
3	0,7	0,9	3,5	4,5
4	0,9	1,1	4,5	5,5
5	1,1	1,3	5,5	6,5

TABLEAU 3.20 : Déplacements sismiques et absolus

Sens X-X Sens Y-Y

Niveau	$P_k$ (kN)	$\Delta_k$ (cm)	$V_k$ (kN)	$h_k$ (m)
1	2167,03	0,1	200,22	3,06
2	1811,11	0,3	192,43	3,06
3	1455,2	0,5	175,01	3,06
4	1099,29	0,7	147,25	3,06
5	743,38	0,9	108,89	3,06
6	387,47	1,1	80,48	3,06

TABLEAU 3.21 : Données pour différents niveaux en sens X-X

Niveau	$P_k$ (kN)	$\Delta_k$ (cm)	$V_k$ (kN)	$h_k$ (m)
1	2167,03	0,1	186,59	3,06
2	1811,11	0,3	132,82	3,06
3	1455,2	0,5	128,09	3,06
4	1099,29	0,7	137,91	3,06
5	743,38	0,9	102,34	3,06
6	387,47	1,1	90,94	3,06

TABLEAU 3.22 : Données pour différents niveaux en sens Y-Y

### 3.6.2 La force SISMIQUE

l'effort dynamique a la base suivant le sens X-X  $E_x(t)=207,15\text{TON}\cdot\text{m}$

l'effort dynamique a la base suivant le sens Y-Y  $E_y(t)=201,43\text{TON}\cdot\text{m}$

l'effort Statique a la base suivant le sens X-X  $V_x(t)=219.30\text{TON}\cdot\text{m}$

l'effort Statique a la base suivant le sens Y-Y  $V_y(t)=219.30\text{TON}\cdot\text{m}$

### 3.6.3 Facteur de sécurité vis-à-vis du renversement

Sens X-X

Niveau	$F_k$ (Ton*m)	$h_k$ (m)	$F_k \cdot h_k$	$W_k$ (Ton)	$b_i$ (m)	$W_k \cdot b_i$
1	7,79	3,06	23,8374	355,91	16,403	5837,992
2	17,42	6,12	106,6104	355,91	16,403	5837,992
3	27,76	9,18	254,8368	355,91	16,403	5837,992
4	38,36	12,24	469,5264	355,91	16,403	5837,992
5	28,41	15,3	434,673	355,91	16,403	5837,992
6	80,48	18,36	1477,6128	387,47	16,403	6355,67

TABLEAU 3.23 : Données DE renversement en sens X-X

$$\begin{aligned} \sum W_k \cdot b_i &= 35545,629 \\ \sum F_k \cdot h_k &= 2767,0968 \\ \Rightarrow \frac{\sum W_k \cdot b_i}{\sum F_k \cdot h_k} &= 12,845 \end{aligned}$$

Sens Y-Y

Niveau	$F_k$ (Ton*m)	$h_k$ (m)	$F_k \cdot h_k$	$W_k$ (Ton)	$b_i$ (m)	$W_k \cdot b_i$
1	6,8	3,06	20,808	355,91	13,85	4929,354
2	16,13	6,12	98,7156	355,91	13,85	4929,354
3	25,75	9,18	236,385	355,91	13,85	4929,354
4	35,57	12,24	435,3768	355,91	13,85	4929,354
5	11,4	15,3	174,42	355,91	13,85	4929,354
6	90,94	18,36	1669,6584	387,47	13,85	5366,46

TABLEAU 3.24 : Données DE renversement en sens Y-Y

$$\begin{aligned} \sum W_k \cdot b_i &= 30013,227 \\ \sum F_k \cdot h_k &= 2635,3638 \\ \Rightarrow \frac{\sum W_k \cdot b_i}{\sum F_k \cdot h_k} &= 11,388 \end{aligned}$$

### 3.6.4 Efforts dans la poutre (30x40)

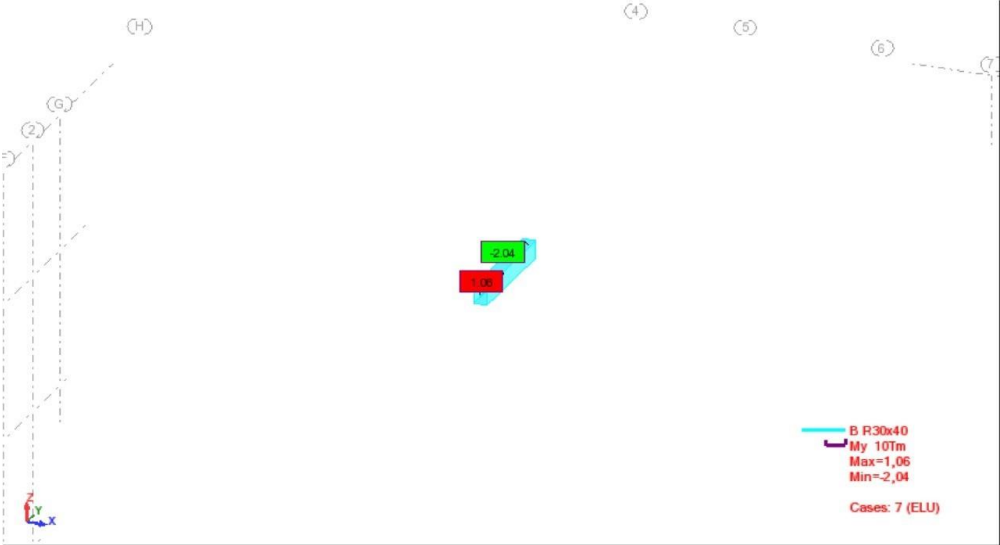


Figure 3.20 : CAS 3.1

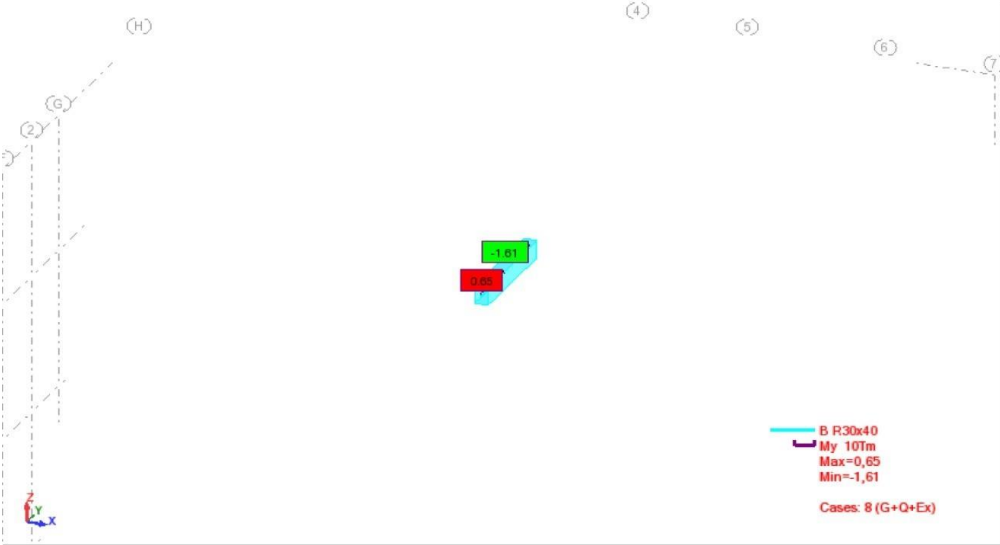


Figure 3.21 : CAS3.2

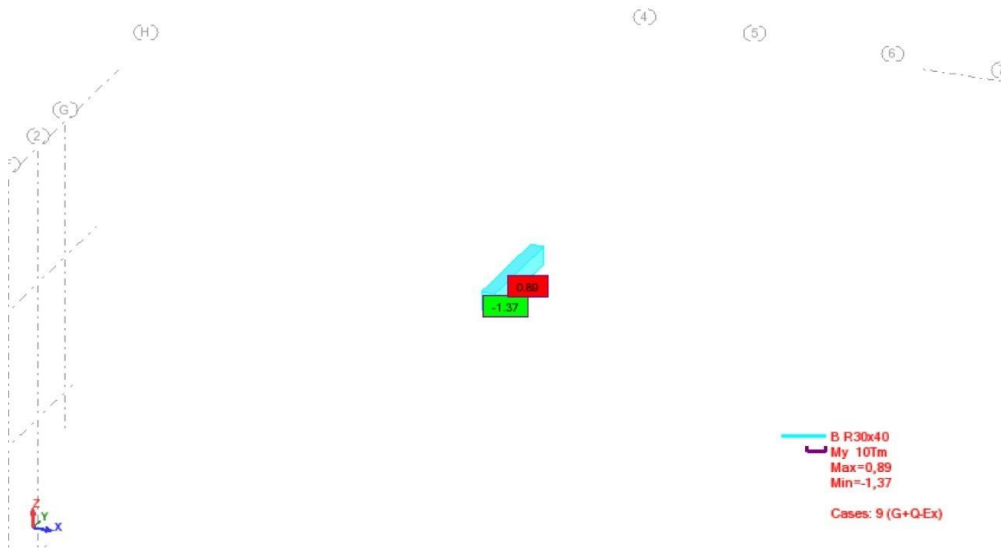


Figure 3.22 : CAS3.3

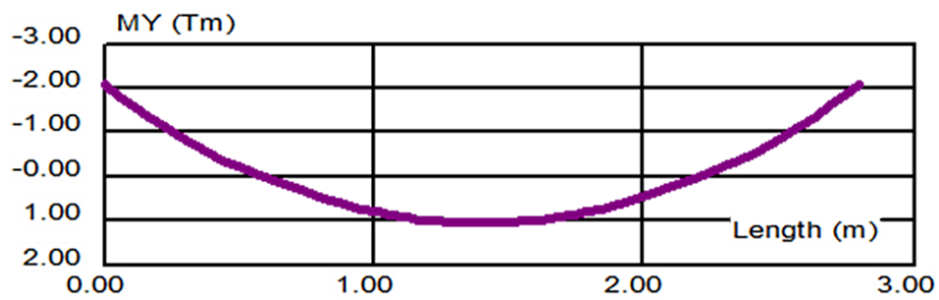


Figure 3.23 : diagramme MY FORME T

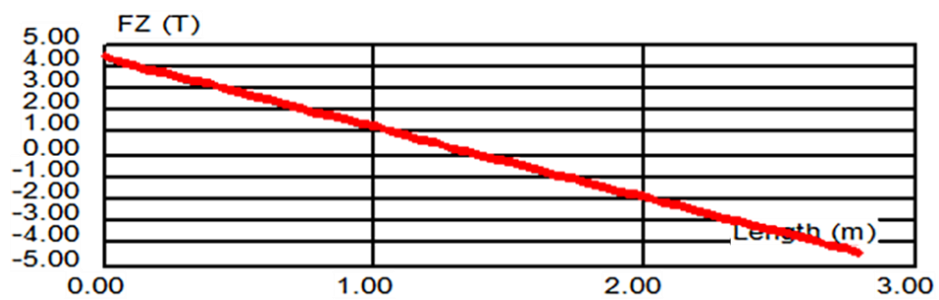


Figure 3.24 : diagramme FZ FORME T

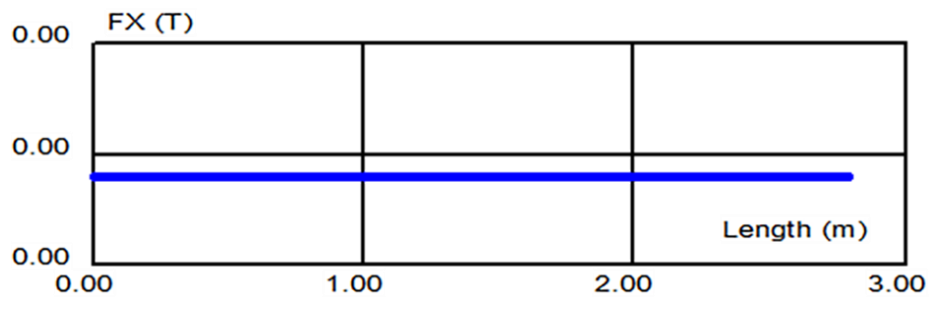


FigUrE 3.25 : diagramme FX FORME T

Barre/Noeud/Cas	FZ (T)	MY (Tm)
860/368/16 (C) (CQC)	3,23	-1,64
860/372/16 (C) (CQC)	3,23	-1,63
860/372/8 (C) (CQC)	3,23	-1,61
860/368/8 (C) (CQC)	-3,23	-1,61
860/372/12 (C) (CQC)	2,27	-1,15
860/368/12 (C) (CQC)	-2,27	-1,15
860/372/7 (C)	4,42	-2,04
860/368/7 (C)	-4,42	-2,04
860/368/18 (C) (CQC)	-1,64	-3,72
860/372/18 (C) (CQC)	4,82	-3,72
860/372/10 (C) (CQC)	4,55	-3,35
860/368/10 (C) (CQC)	-1,90	-3,35
860/372/6 (C)	3,23	-1,49
860/368/6 (C)	-3,23	-1,49
860/372/11 (C) (CQC)	1,90	0,37
860/368/11 (C) (CQC)	-4,55	0,37
860/368/19 (C) (CQC)	-4,82	0,74
860/372/19 (C) (CQC)	1,64	0,74
860/368/20 (C) (CQC)	-3,07	-1,42
860/372/20 (C) (CQC)	3,07	-1,42
860/368/14 (C) (CQC)	-1,21	-2,54
860/372/14 (C) (CQC)	3,33	-2,54
860/372/15 (C) (CQC)	1,21	0,43
860/368/15 (C) (CQC)	-3,33	0,43
860/368/9 (C) (CQC)	-3,23	-1,36
860/372/9 (C) (CQC)	3,23	-1,37
860/368/13 (C) (CQC)	-2,27	-0,95
860/372/13 (C) (CQC)	2,27	-0,96

TABLEAU 3.25 : Forces et moments en différents barres, noeuds et cas

### 3.6.5 Effort dans le poteau 40x40

Barre/Noeud/Cas	FX (T)	MY (Tm)	MZ (Tm)	Case name
764/339/16 (C) (CQC)	85,33	-3,97	0,30	G+Q+1.2Ex
764/283/16 (C) (CQC)	58,30	-2,63	0,20	0.8G+Ex
764/339/12 (C) (CQC)	50,70	-1,33	-0,19	G+Q+1.2Ex
764/283/12 (C) (CQC)	35,06	-0,87	-0,13	0.8G+Ex
764/339/18 (C) (CQC)	29,26	-0,06	3,92	G+Q+1.2Ey
764/339/14 (C) (CQC)	27,92	0,18	0,74	G+Q+1.2Ey
764/283/18 (C) (CQC)	20,92	-0,02	2,61	0.8G+Ey
764/339/19 (C) (CQC)	19,87	0,13	0,49	0.8G+Ey
764/283/19 (C) (CQC)	6,48	0,40	-3,53	G+Q+1.2Ey
764/283/14 (C) (CQC)	6,39	0,35	-1,58	G+Q+1.2Ey
764/339/15 (C) (CQC)	5,73	0,28	-2,35	0.8G-Ey
764/283/15 (C) (CQC)	5,52	0,24	-1,06	0.8G-Ey
764/339/13 (C) (CQC)	-9,68	1,25	-0,44	0.8G+Ex
764/283/13 (C) (CQC)	-16,39	1,86	-0,65	G+Q+1.2Ex
764/339/17 (C) (CQC)	-31,65	2,89	0,06	0.8G-Ex
764/283/17 (C) (CQC)	-49,59	4,31	0,09	G+Q+1.2Ex

TABLEAU 3.26 : Forces and moments in different bars, nodes, and cases

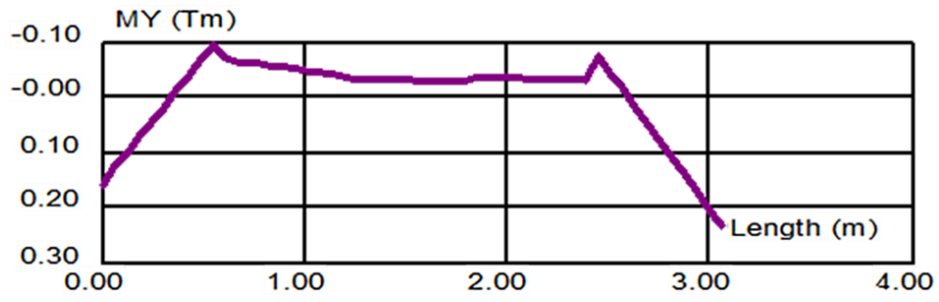


Figure 3.26 : diagramme poteau MY FORME T

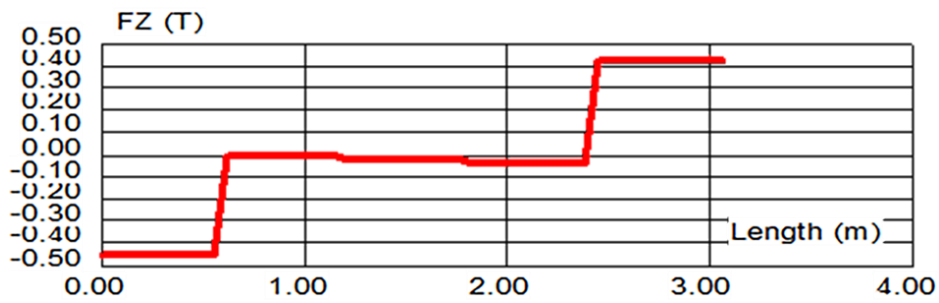


Figure 3.27 : diagramme poteau FZ FORME T

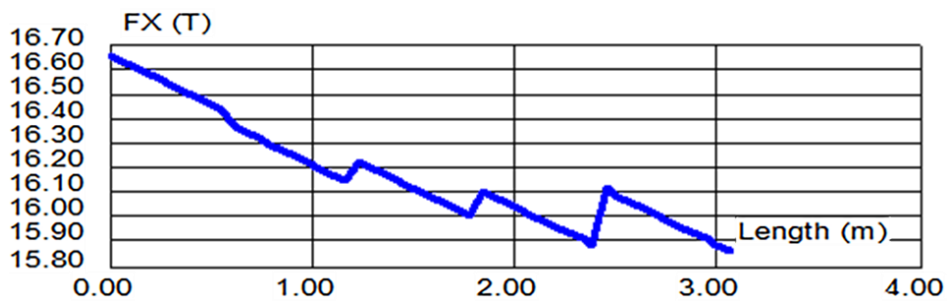


Figure 3.28 : diagramme poteau FX FORME T

3.6.6 Effort dans le voile ep=20cm

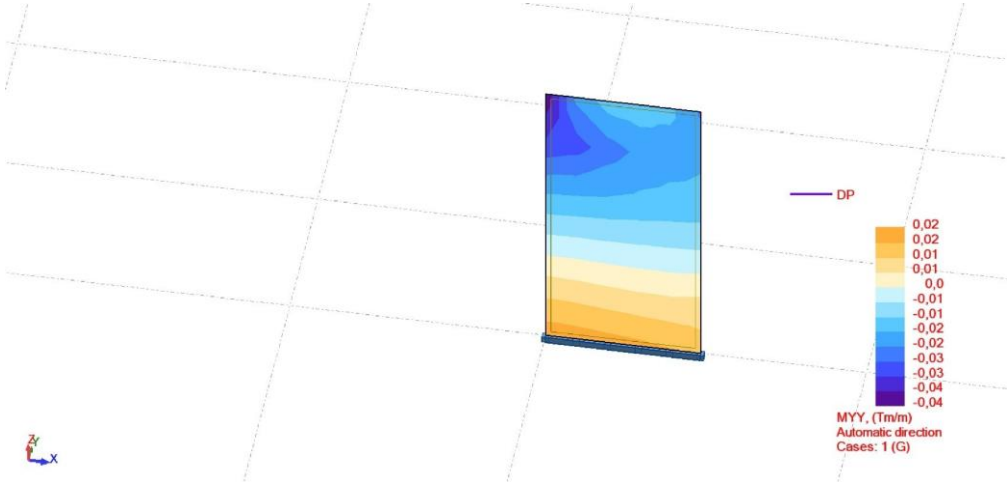


FigURE 3.29 : : VOILE FORME T

Barre/Noeud/Cas	MXX [Tm/m]	MYY [Tm/m]	NXX [T/m]	NYX [T/m]	QXX [T/m]	QYY [T/m]
956/14/10 (C) (CQC)	0,10	0,51	24,12	123,88	0,34	0,28
956/120/10 (C) (CQC)	0,10	0,51	22,98	119,03	0,30	0,25
956/109/10 (C) (CQC)	0,10	0,50	19,61	105,09	0,25	0,25
956/120/14 (C) (CQC)	0,10	0,49	19,52	101,91	0,23	0,24
956/109/14 (C) (CQC)	0,09	0,47	18,86	100,07	0,23	0,23
956/121/10 (C) (CQC)	0,09	0,43	15,83	84,71	0,21	0,24
956/109/14 (C) (CQC)	0,09	0,47	18,86	100,07	0,23	0,23
956/110/10 (C) (CQC)	0,20	1,01	22,62	151,60	1,23	0,97
956/110/14 (C) (CQC)	0,20	1,00	21,46	142,77	1,19	0,93
956/119/10 (C) (CQC)	0,19	0,96	17,66	138,46	1,12	0,91
956/125/10 (C) (CQC)	0,19	0,95	15,05	137,49	1,11	0,89
956/122/10 (C) (CQC)	0,19	0,96	14,54	131,90	1,10	0,80
956/130/10 (C) (CQC)	0,19	0,95	14,06	128,93	1,10	0,76
956/106/10 (C) (CQC)	0,19	0,91	13,36	128,46	1,09	0,73
956/119/14 (C) (CQC)	0,18	0,94	12,66	127,13	1,02	0,68
956/125/14 (C) (CQC)	0,18	0,92	12,66	127,13	1,02	0,68
956/130/14 (C) (CQC)	0,18	0,92	12,66	126,43	0,95	0,64
956/105/10 (C) (CQC)	0,18	0,91	11,83	125,80	0,90	0,63
956/109/10 (C) (CQC)	0,18	0,90	10,47	123,74	0,90	0,62
956/111/14 (C) (CQC)	0,17	0,92	9,62	123,74	0,83	0,60
956/14/8 (C) (CQC)	0,17	0,90	9,82	123,04	0,88	0,61
956/109/8 (C) (CQC)	0,17	0,91	9,58	121,50	0,80	0,56
956/122/14 (C) (CQC)	0,17	0,89	9,43	118,91	0,86	0,60
956/13/14 (C) (CQC)	0,17	0,89	8,97	118,54	0,85	0,60

TABLEAU 3.27 : Forces et moments en différents barres, noeuds et cas

---

# Analyse et interprétation des résultats

## Introduction

Dans ce chapitre, nous étudions l'impact des différentes formes en plan sur les performances structurelles des bâtiments soumis à des charges dynamiques, notamment les forces sismiques. Les formes géométriques des structures analysées incluent des configurations rectangulaires, en L et en T. L'objectif principal de cette étude est de comprendre comment ces différentes géométries influencent les périodes de vibration, les déplacements totaux, les forces sismiques, les moments de renversement et les efforts appliqués sur les éléments structuraux tels que les poutres, les poteaux et les voiles. Nous commençons par une analyse théorique des principes de base régissant les comportements dynamiques des structures, suivie d'une évaluation empirique basée sur des simulations numériques et des modèles mathématiques. Chaque forme géométrique est examinée en détail pour déterminer ses avantages et inconvénients en termes de stabilité, rigidité et répartition des charges. Les résultats obtenus permettent de formuler des recommandations pratiques pour la conception et le renforcement des structures afin d'optimiser leur performance sous l'effet des forces sismiques.

## 4.1 Effet de la forme en plan sur la période

CAS	VALEUR DE PERIODE T (sec)
Forme rect	0,59
Forme L	0,48
Forme T	0,56

TABLEAU 4.1 : Valeur de Période pour différents cas

### 4.1.1 Diagramme des valeur T(sec)

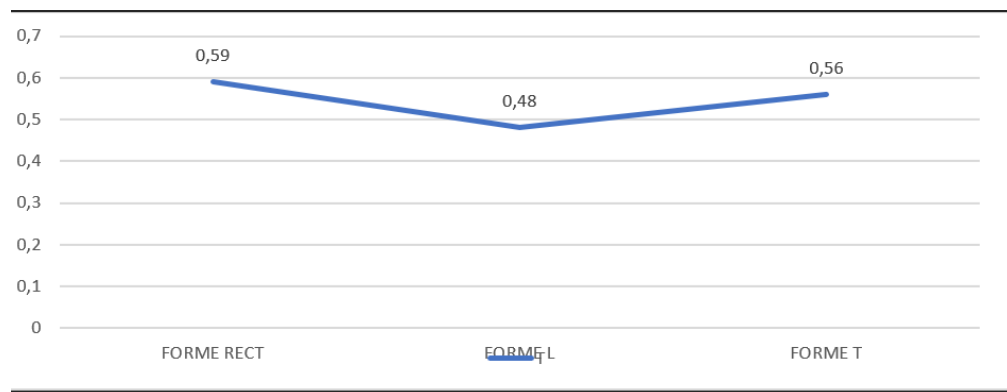


FIGURE 4.1 : Le graphique montre les variations de la période (en secondes) pour trois formes structurales : FORM RECT, FORME L, et FORME T

Analyse des données Forme Rectangulaire (FORM RECT) : La période est d'environ 0,6 secondes. Cela s'explique par une distribution uniforme de la masse et de la rigidité, offrant une plus grande stabilité structurelle.

-Forme en L (FORME L) La période diminue à environ 0,45 secondes. La géométrie asymétrique induit des concentrations de contraintes, réduisant la stabilité.

-Forme en T (FORME T) : La période augmente à environ 0,5 secondes. La forme en T offre une meilleure distribution de la rigidité par rapport à la forme en L.

-Raisons des Variations : Distribution de la masse et de la rigidité : Plus uniforme dans les formes rectangulaires.

Concentrations de contraintes : Plus présentes dans les formes en L et en T.

Comportement dynamique : Diffère selon la géométrie.

En résumé, la géométrie structurelle impacte significativement la période, influençant la stabilité et la performance des structures sous des charges dynamiques.

## 4.2 Effet de la forme en plan sur le déplacement total

### 4.2.1 Valeurs du déplacement total en fonction de la forme en plan

Cas	Déplacement sens X.X (cm)	Déplacement sens Y.Y (cm)
Forme rect	1.1	1.1
Forme L	1.1	1.1
Forme T	1.1	1.3

TABLEAU 4.2 : Déplacement en différents sens pour différents cas

### 4.2.2 Diagramme déplacements totaux en fonction de la forme en plan

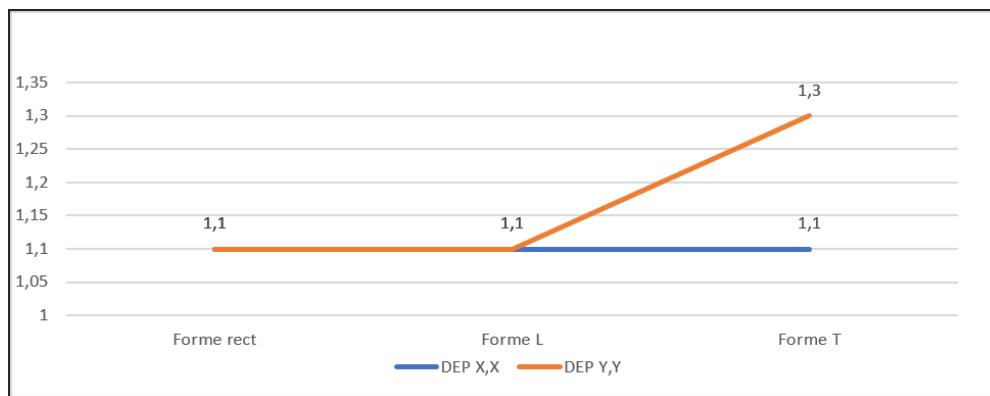


FIGURE 4.2 : les déplacements totaux en réponse aux forces sismiques

Le graphique présente les déplacements totaux en réponse aux forces sismiques selon différentes formes de structures : rectangulaire, en L, et en T. Les déplacements sont mesurés dans les directions X (DEP X,X) et Y (DEP Y,Y).

Analyse des données

1. Forme rectangulaire (Forme rect) :

- DEP X,X : Le déplacement est constant à 1.1.
- DEP Y,Y : Le déplacement est également constant à 1.1.

La constance des déplacements dans les deux directions pour la forme rectangulaire suggère une stabilité structurelle homogène sous les forces sismiques appliquées.

2. Forme en T :

- DEP X,X : Le déplacement reste constant à 1.1.
- DEP Y,Y : Le déplacement augmente significativement à 1.3.

La forme en T montre une augmentation notable du déplacement dans la direction Y par

rapport aux autres formes, ce qui peut indiquer une vulnérabilité accrue de cette configuration structurelle aux forces sismiques dans cette direction.

Forme en L :

- DEP X,X : Le déplacement reste constant à 1.1.

- DEP Y,Y : Le déplacement est aussi constant à 1.1.

Les résultats pour la forme en L sont identiques à ceux de la forme rectangulaire, indiquant une réponse similaire aux forces sismiques dans les deux directions.

Raisons des variations

1. Uniformité des déplacements pour les formes rectangulaires et en L :

- Structure symétrique : Les formes rectangulaire et en L sont probablement conçues avec une symétrie et une distribution uniforme des masses et des rigidités, ce qui permet une répartition équitable des forces sismiques.

- Rigidité structurelle : Les deux formes peuvent avoir une rigidité uniforme dans les directions X et Y, minimisant ainsi les déplacements différenciés.

2. Augmentation des déplacements dans la direction Y pour la forme en T :

Configuration géométrique : La forme en T présente des projections qui peuvent induire des concentrations de contraintes, particulièrement dans les zones de jonction des barres de la forme en T.

Asymétrie : L'asymétrie de la forme en T peut entraîner une réponse dynamique plus complexe, amplifiant les déplacements dans certaines directions sous l'effet des forces sismiques.

Effet de levier : La configuration en T peut créer des effets de levier supplémentaires, augmentant les déplacements dans la direction Y.

Conclusion

Les résultats suggèrent que les formes structurelles symétriques et uniformes, comme les formes rectangulaires et en L, présentent une meilleure performance sismique avec des déplacements minimaux et uniformes. En revanche, la forme en T montre une sensibilité accrue aux forces sismiques dans la direction Y, nécessitant potentiellement des renforcements supplémentaires ou des modifications de conception pour améliorer sa stabilité.

#### 4.2.2.1 Effet de la forme en plan sur le déplacement total absolu

CAS	Déplacement sens X.X (cm)	Déplacement sens Y.Y (cm)
Forme rect	5.5	5.5
Forme L	5.5	5.5
Forme T	5.5	5.6

TABLEAU 4.3 : Déplacement en différents sens pour différents cas

#### 4.2.2.2 Diagramme déplacements total absolus

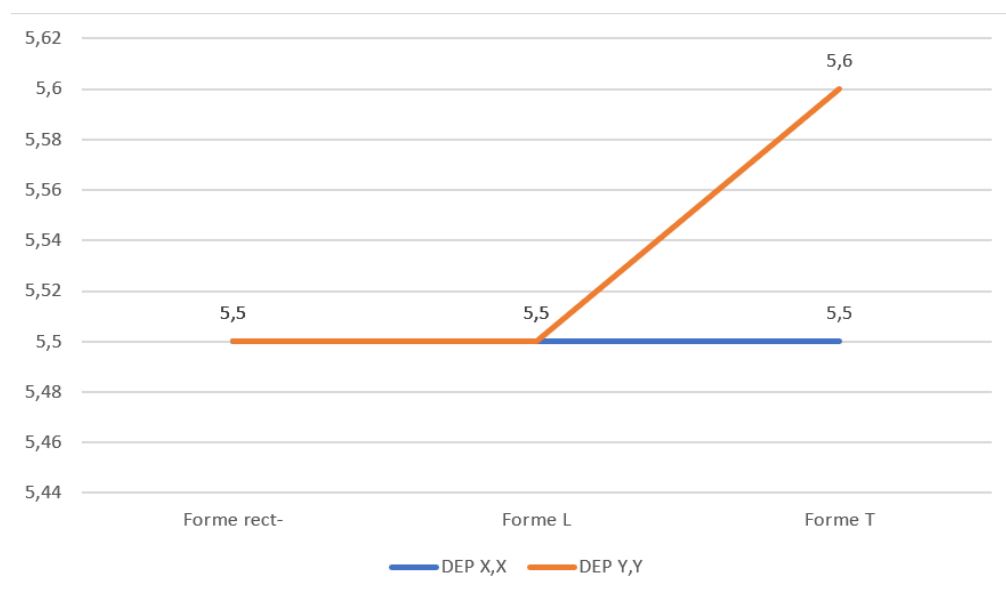


Figure 4.3 : les déplacements totaux absolus

Le graphique présente les déplacements totaux absolus des structures en réponse aux forces sismiques pour différentes formes : rectangulaire, en L, et en T. Les déplacements sont mesurés dans les directions X (DEP X,X) et Y (DEP Y,Y).

Analyse des données

1. Forme rectangulaire (Forme ret) :

- DEP X,X : Le déplacement est constant à 5.5.
- DEP Y,Y : Le déplacement est également constant à 5.5.

La constance des déplacements dans les deux directions pour la forme rectangulaire indique une réponse structurelle uniforme aux forces sismiques.

3. Forme en T :

- DEP X,X : Le déplacement reste constant à 5.5.
- DEP Y,Y : Le déplacement augmente à 5.6.

La forme en T présente une légère augmentation du déplacement dans la direction Y, ce qui peut indiquer une légère vulnérabilité par rapport aux autres formes.

3. Forme en L :

- DEP X,X : Le déplacement reste constant à 5.5.

- DEP Y,Y : Le déplacement est aussi constant à 5.5.

Comme pour la forme rectangulaire, la forme en L montre des déplacements constants dans les deux directions, ce qui suggère une bonne répartition des forces.

Raisons des variations

1. Uniformité des déplacements pour les formes rectangulaires et en L :

Conception symétrique : Les formes rectangulaire et en L bénéficient probablement d'une conception symétrique, permettant une répartition uniforme des charges et des déplacements sous les forces sismiques.

Rigidité uniforme : Une rigidité uniforme dans toutes les directions contribue à minimiser les différences de déplacements.

2. Augmentation des déplacements dans la direction Y pour la forme en T :

Effet de la géométrie : La forme en T, avec ses projections, peut entraîner des concentrations de contraintes et une réponse dynamique plus complexe.

Asymétrie structurelle : L'asymétrie inhérente à la forme en T peut amplifier les déplacements dans certaines directions, particulièrement en Y.

Conclusion

Les formes rectangulaires et en L montrent une stabilité et une uniformité dans leur réponse aux forces sismiques, avec des déplacements constants dans les directions X et Y. La forme en T, bien que généralement stable, présente une légère augmentation des déplacements en Y, suggérant un besoin potentiel de renforcement ou de modifications de conception pour améliorer sa performance sous l'effet des forces sismiques.

### 4.3 Effet de la forme en plan sur la force sismique

Cas	Force sismique EX (Ton.m)	Force sismique EY (Ton.m)
Forme Rect	168.84	162.21
Forme L	207,15	201,43
Forme T	200.22	186.59

TABLEAU 4.4 : Forces sismiques pour différents cas de forme

### 4.3.1 Diagramme Des valeur EX et EY en fonction de la forme en plan

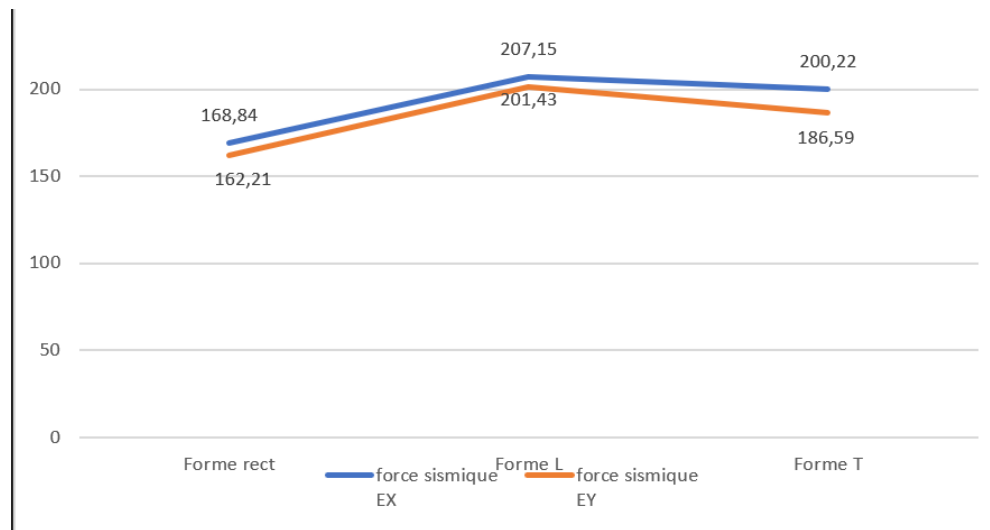


Figure 4.4 : Diagramme Des valeur EX et EY

Le graphique présente les valeurs des forces sismiques (EX et EY) pour différentes formes de structures : rectangulaire, en L, et en T. Les valeurs sont comparées entre les forces sismiques dans la direction X (EX) et dans la direction Y (EY).

Analyse des données

1. Forme rectangulaire (Forme rect) :

- EX : 168,84

- EY : 162,21

Les valeurs des forces sismiques pour la forme rectangulaire sont relativement proches dans les deux directions, avec une légère prédominance pour la direction X.

2. Forme en T :

- EX : 200,22

- EY : 186,59

Pour la forme en T, les valeurs des forces sismiques restent élevées, bien que légèrement inférieures à celles de la forme en L. La différence entre EX et EY est plus prononcée que pour les autres formes.

3. Forme en L :

- EX : 207,15

- EY : 201,43

La forme en L présente une augmentation significative des valeurs des forces sismiques par rapport à la forme rectangulaire, avec des valeurs légèrement plus élevées en X qu'en Y.

### Raisons des variations

#### 1. Forme rectangulaire :

- Symétrie et uniformité : La forme rectangulaire, étant symétrique et uniforme, permet une répartition plus égale des forces sismiques dans les deux directions, d'où les valeurs proches pour EX et EY.

#### 2. Forme en T :

- Complexité structurelle : La forme en T, avec ses projections asymétriques, peut créer des effets de levier et des concentrations de contraintes, conduisant à des valeurs plus élevées des forces sismiques. La différence plus marquée entre EX et EY suggère une réponse asymétrique aux forces appliquées.

#### 3. Forme en L :

- Configuration géométrique : La forme en L, avec ses angles et projections, peut entraîner une augmentation des concentrations de contraintes aux jonctions, ce qui explique les valeurs plus élevées des forces sismiques dans les deux directions.

- Rigidité et masse : Une répartition non uniforme de la masse et de la rigidité peut également contribuer à ces valeurs plus élevées.

### Conclusion

Les résultats montrent que les formes structurelles symétriques, comme la forme rectangulaire, ont des valeurs de forces sismiques plus équilibrées et généralement plus faibles. En revanche, les formes en L et en T, en raison de leur géométrie complexe, présentent des valeurs de forces sismiques plus élevées, avec une différence plus marquée entre les directions X et Y pour la forme en T.

## 4.4 Effet de la forme en plan sur le renversement

Cas		
Forme rect	$\Sigma$	$\Sigma$
	12.243	8.564
Forme L	12.959	14.688

TABLEAU 4.5 : Calcul des ratios pour différents cas de forme

#### 4.4.1 Diagramme des valeur du facteur de sécurité vis-à-vis du renversement en fonction de la forme en plan

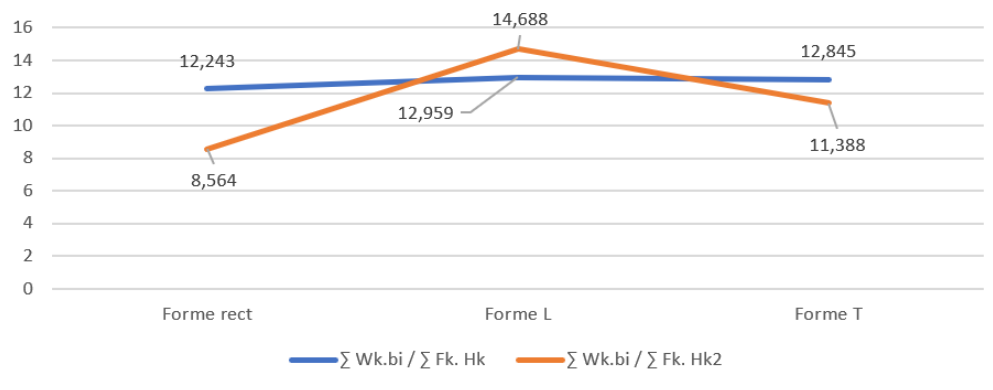


FIGURE 4.5 : Diagramme des valeur du facteur de sécurité vis-à-vis du renversement en fonction de la forme en plan

Le graphique présente les valeurs de renversement pour différentes formes de structures : rectangulaire, en L, et en T. Les valeurs sont comparées à l'aide de deux ratios :  $W_k b_i / F_k h_k$  et  $W_k b_i / F_k h_k$  Analyse des données 1. Forme rectangulaire (Forme rect) :

$$S = \frac{\sum W_k b_i}{\sum F_k h_k} = \frac{\sum W_k b_i}{\sum F_k h_k} : 12,243$$

$$S = \frac{\sum W_k b_i}{\sum F_k h_k} = \frac{\sum W_k b_i}{\sum F_k h_k} : 8,564$$

Pour la forme rectangulaire, les valeurs de renversement sont relativement élevées mais stables, indiquant une bonne résistance aux forces de renversement.

2. Forme en L :

$$S = \frac{\sum W_k b_i}{\sum F_k h_k} = \frac{\sum W_k b_i}{\sum F_k h_k} : 14,688$$

$$S = \frac{\sum W_k b_i}{\sum F_k h_k} = \frac{\sum W_k b_i}{\sum F_k h_k} : 12,959$$

La forme en L montre des valeurs de renversement significativement plus élevées, suggérant une vulnérabilité accrue à ces forces par rapport à la forme rectangulaire.

3. Forme en T :

$$S = \frac{\sum W_k b_i}{\sum F_k h_k} = \frac{\sum W_k b_i}{\sum F_k h_k} : 12,845$$

$$S = \frac{\sum W_k b_i}{\sum F_k h_k} = \frac{\sum W_k b_i}{\sum F_k h_k} : 11,388$$

La forme en T présente des valeurs de renversement intermédiaires, plus élevées que celles de la forme rectangulaire mais inférieures à celles de la forme en L.

Raisons des variations

1. Forme rectangulaire :

- Stabilité et symétrie : La forme rectangulaire, avec une répartition uniforme des masses et des rigidités, résiste bien aux forces de renversement, ce qui se reflète dans les valeurs relativement stables et modérées des ratios.

2. Forme en L :

- Complexité géométrique : La forme en L, avec ses angles et projections, augmente les concentrations de contraintes et les moments de renversement, conduisant à des valeurs de renversement plus élevées.

- Effet de levier : La géométrie de la forme en L crée des effets de levier qui amplifient les forces de renversement.

3. Forme en T :

- Asymétrie structurelle : La forme en T, bien qu'elle présente des valeurs de renversement élevées, montre une réponse intermédiaire en raison de ses projections asymétriques qui créent des concentrations de contraintes, mais à un degré moindre que la forme en L.

- Distribution des forces : La répartition des forces dans la forme en T est plus équilibrée que dans la forme en L, réduisant légèrement les effets de renversement.

Conclusion

Les résultats montrent que les formes géométriques complexes, comme les formes en L et en T, sont plus vulnérables aux forces de renversement par rapport à la forme rectangulaire. La forme en L est particulièrement sensible en raison de sa géométrie qui amplifie les forces de renversement. La forme rectangulaire reste la plus stable et la plus résistante aux forces de renversement.

## 4.5 Effet de la forme en plan sur les efforts des éléments

### 4.5.1 Effet de forme en plan sur les efforts de poutre

Le cas	FZ (T)	MY (Tm)
FORME RECT	4.42	-2.17
FORME L	3.25	-1.52
FORME T	-3.23	-1.64

TABLEAU 4.6 : Valeurs de FZ et MY pour différents cas

#### 4.5.1.1 Diagramme Effet de la forme en plan sur les efforts de poutre

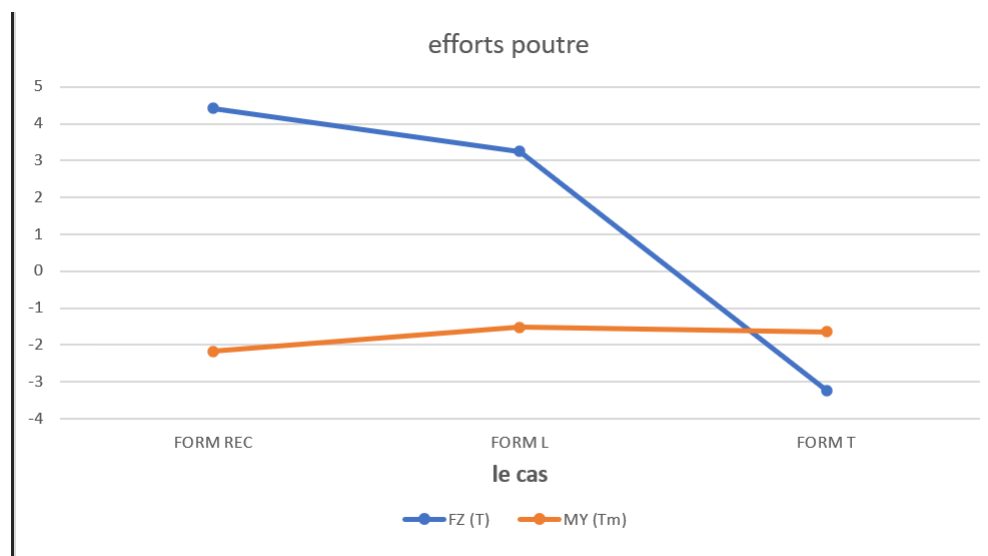


Figure 4.6 : Diagramme forme en plan sur les efforts de poutre

Le graphique présente les efforts appliqués aux poutres pour différentes formes de structures : rectangulaire, en L, et en T. Les efforts sont mesurés en termes de force verticale (FZ) et de moment fléchissant (MY).

Analyse des données

1. Forme rectangulaire :

- FZ (T) : Environ 4.7

- MY (Tm) : Environ -1.8

Les efforts pour la forme rectangulaire montrent une force verticale (FZ) élevée et un moment fléchissant (MY) négatif mais constant.

## 2. Forme en T :

- FZ (T) : Environ 2.0

- MY (Tm) : Environ -1.5

La forme en T montre une diminution significative de la force verticale et une légère diminution du moment fléchissant.

## 3. Forme en L :

- FZ (T) : Environ 4.0

- MY (Tm) : Environ -1.6

Pour la forme en L, la force verticale diminue légèrement par rapport à la forme rectangulaire, tandis que le moment fléchissant reste constant mais légèrement inférieur.

## Raisons des variations

### 1. Forme rectangulaire :

- Rigidité et distribution des charges : La forme rectangulaire, étant symétrique et rigide, supporte des charges verticales élevées (FZ) tout en maintenant un moment fléchissant relativement stable.

### 2. Forme en L :

- Configuration géométrique : La forme en L, avec ses angles et projections, réduit légèrement la force verticale supportée par les poutres, mais maintient un moment fléchissant stable. Cette forme peut redistribuer partiellement les charges en raison de sa géométrie.

### 3. Forme en T :

- Complexité structurelle et effets de levier : La forme en T, avec ses projections asymétriques, entraîne une diminution significative de la force verticale supportée par les poutres, indiquant une redistribution des charges et des effets de levier réduits. Le moment fléchissant reste relativement stable mais diminue légèrement en raison de la redistribution des forces.

## Conclusion

Les formes géométriques complexes, comme les formes en L et en T, montrent une diminution de la force verticale supportée par les poutres par rapport à la forme rectangulaire. La forme en T, en particulier, présente une diminution significative de cette force, indiquant une redistribution des charges et une réduction des effets de levier. Le moment fléchissant reste relativement stable pour toutes les formes, bien qu'il diminue légèrement pour les formes en L et en T.

## 4.5.2 Effet de la forme en plan sur les efforts du poteau

Le cas	FX (T)	MY (Tm)	MZ (Tm)
FORME RECT	23.01	1.52	-0.37
FORME L	84.10	-3.54	0.45
FORME T	85.33	-3.97	0.30

TABLEAU 4.7 : Valeurs de FX, MY et MZ pour différents cas

### 4.5.2.1 Diagramme effet de la forme en plan sur les efforts de poteau

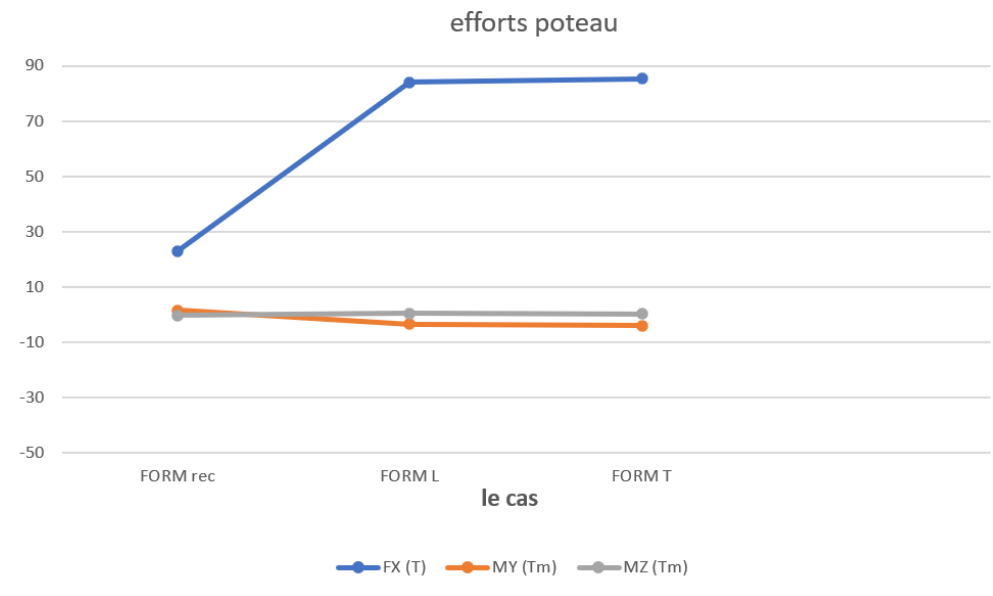


Figure 4.7 : Formes régulières : plans simples à 2 axes de symétrie

Le graphique présente les efforts appliqués aux poteaux pour différentes formes de structures : rectangulaire, en L, et en T. Les efforts sont mesurés en termes de force horizontale (FX), de moment fléchissant autour de l'axe Y (MY), et de moment de torsion autour de l'axe Z (MZ).

Analyse des données

1. Forme rectangulaire (FORM rec) :

FX (T) : Environ 30

MY (Tm) : Environ -5

MZ (Tm) : Environ -10

La forme rectangulaire montre des valeurs modérées de force horizontale (FX) et de moments (MY et MZ), indiquant une bonne distribution des efforts sur les poteaux.

3. Forme en T (FORM T) :

FX (T) : Environ 60

MY (Tm) : Environ -6

MZ (Tm) : Environ -10

La forme en T montre des valeurs similaires à celles de la forme en L pour FX, avec une légère diminution de MY et une constance de MZ. 2. Forme en L (FORM L) :

FX (T) : Environ 60

MY (Tm) : Environ -7

MZ (Tm) : Environ -10

Pour la forme en L, la force horizontale (FX) double par rapport à la forme rectangulaire, tandis que les moments MY et MZ restent relativement constants avec une légère augmentation pour MY.

#### Raisons des variations

Forme rectangulaire :

Symétrie et rigidité : La forme rectangulaire, étant symétrique et rigide, distribue efficacement les forces horizontales et les moments, ce qui se traduit par des valeurs modérées pour FX, MY, et MZ.

2. Forme en L :

Complexité géométrique : La forme en L, avec ses angles et projections, augmente considérablement la force horizontale (FX) en raison de la concentration des contraintes et des effets de levier créés par sa géométrie.

Distribution des moments : Les moments MY et MZ restent relativement stables avec une légère augmentation de MY en raison des effets de torsion supplémentaires créés par la configuration en L.

3. Forme en T :

Effets de levier et distribution des forces : La forme en T, bien qu'elle montre une force horizontale élevée similaire à la forme en L, distribue les moments de manière légèrement différente, avec une diminution légère de MY mais une constance de MZ. Asymétrie : L'asymétrie de la forme en T peut également contribuer à une distribution différente des forces et des moments par rapport à la forme en L. Conclusion

Les résultats montrent que les formes géométriques complexes, comme les formes en L et en T, présentent des valeurs élevées de force horizontale (FX) par rapport à la forme rectangulaire. Les moments fléchissant (MY) et de torsion (MZ) restent relativement constants, bien que MY montre une légère augmentation pour la forme en L. La forme rectangulaire reste la plus efficace en termes de distribution des efforts sur les poteaux.

### 4.5.3 Effet de la prise en compte de forme en plan sur les efforts tranchants (T) du voile

Le cas	TXX (T/m <sup>2</sup> )	TYY (T/m <sup>2</sup> )
FORME RECT	2.01	1.48
FORME L	0.08	0.34
FORME T	0.34	0.28

TABLEAU 4.8 : Valeurs de TXX et TYY pour différents cas

#### 4.5.3.1 Diagramme Effet de la forme en plan sur les efforts tranchants (T) du voile

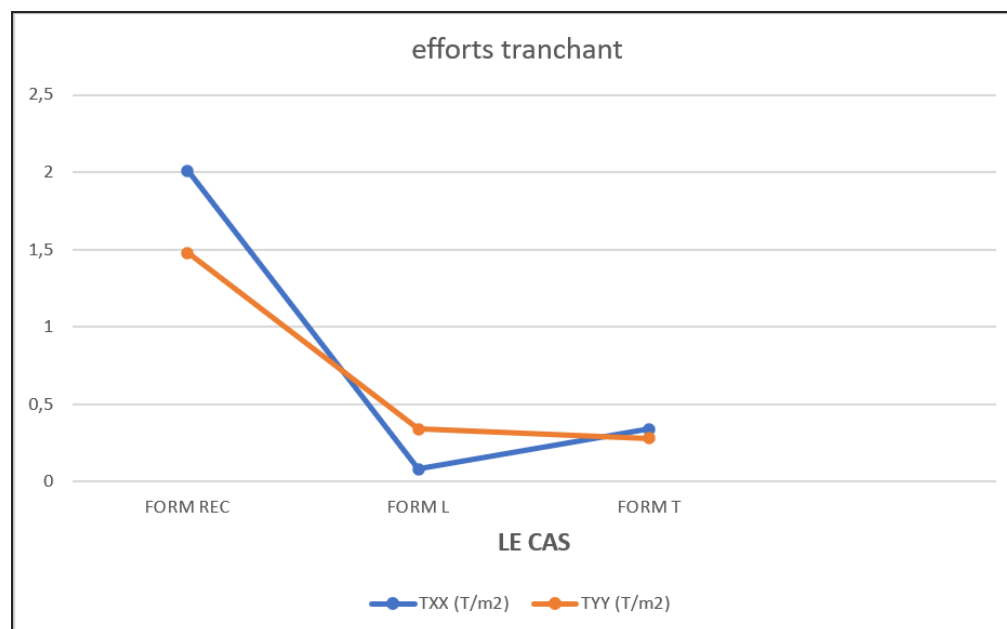


Figure 4.8 : Formes régulières : plans simples à 2 axes de symétrie

Le graphique présente les efforts tranchants (TXX et TYY) sur les voiles pour différentes formes de structures : rectangulaire, en L, et en T. Les efforts sont mesurés en termes de TXX et TYY, représentant les efforts tranchants dans les directions X et Y respectivement.

Analyse des données

1. Forme rectangulaire (FORM REC) :

- TXX (T/m<sup>2</sup>) : Environ 2.2

- TYY (T/m<sup>2</sup>) : Environ 1.5

Pour la forme rectangulaire, les efforts tranchants TXX sont plus élevés que TYY, indiquant une distribution asymétrique des forces tranchantes dans les directions X et Y

2. Forme en T (FORM T) :

- TXX (T/m<sup>2</sup>) : Environ 0.6

- TYY (T/m<sup>2</sup>) : Environ 0.5

La forme en T présente une légère augmentation des efforts tranchants par rapport à la forme en L, mais reste nettement inférieure à la forme rectangulaire.

3. Forme en L (FORM L) :

- TXX (T/m<sup>2</sup>) : Environ 0.4

- TYY (T/m<sup>2</sup>) : Environ 0.3

La forme en L montre une réduction significative des efforts tranchants par rapport à la forme rectangulaire, avec des valeurs très faibles et presque égales pour TXX et TYY.

#### Raisons des variations

1. Forme rectangulaire :

- Rigidité et distribution des charges : La forme rectangulaire, avec sa symétrie et rigidité, supporte des efforts tranchants élevés, particulièrement dans la direction X en raison de la répartition des charges et des contraintes.

2. Forme en T :

- Distribution asymétrique des forces : La forme en T présente une répartition des charges qui génère des efforts tranchants légèrement supérieurs à ceux de la forme en L, mais inférieurs à ceux de la forme rectangulaire.

- Concentration des contraintes : Les projections asymétriques de la forme en T peuvent entraîner des concentrations de contraintes modérées, augmentant légèrement les efforts tranchants par rapport à la forme en L.

3. Forme en L :

- Réduction des contraintes : La forme en L, avec ses angles et projections, redistribue les charges de manière à réduire les contraintes tranchantes. Cela conduit à des efforts tranchants très faibles dans les deux directions.

- Effets de levier réduits : Les effets de levier créés par la géométrie en L peuvent contribuer à la réduction des efforts tranchants.

#### Conclusion

Les résultats montrent que les formes géométriques complexes, comme les formes en L et en T, présentent des efforts tranchants significativement inférieurs par rapport à la forme rectangulaire. La forme rectangulaire supporte des efforts tranchants plus élevés, particulièrement dans la direction X. Les formes en L et en T montrent une distribution plus équilibrée et réduite des efforts tranchants, suggérant une meilleure répartition des charges.

#### 4.5.4 Effet de la forme en plan sur les efforts normal (N) du voile

Le cas	NXX (T/m)	NY Y (T/m)
FORME RECT	39.47	191.11
FORME L	29.35	135.29
FORME T	24.12	123.88

TABLEAU 4.9 : Valeurs de NXX et NY Y pour différents cas

##### 4.5.4.1 Diagramme forme en plan sur les efforts normal (N) de voile

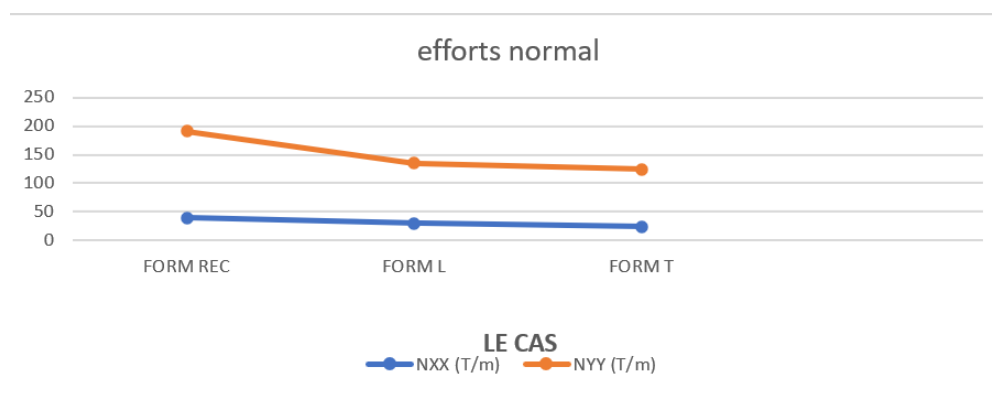


Figure 4.9 : Diagramme forme en plan sur les efforts normal

Le graphique présente les efforts normaux (NXX et NY Y) sur les voiles pour différentes formes de structures : rectangulaire, en L, et en T. Les efforts sont mesurés en termes de NXX et NY Y, représentant les efforts normaux dans les directions X et Y respectivement.

Analyse des données

1. Forme rectangulaire (FORM REC) :

NXX (T/m) : Environ 50

NY Y (T/m) : Environ 200

Pour la forme rectangulaire, les efforts normaux dans la direction Y (NY Y) sont significativement plus élevés que ceux dans la direction X (NXX), indiquant une distribution asymétrique des forces normales.

2. Forme en T (FORM T) :

NXX (T/m) : Environ 30

NY Y (T/m) : Environ 150

La forme en T présente une réduction supplémentaire des efforts normaux par rapport à la forme en L, mais les valeurs restent similaires à celles de la forme en L.

3. Forme en L (FORM L) :

NXX (T/m) : Environ 40

NYY (T/m) : Environ 160

La forme en L montre une réduction des efforts normaux par rapport à la forme rectangulaire dans les deux directions, avec une diminution plus marquée pour NYY.

#### Raisons des variations

##### 1. Forme rectangulaire :

Distribution des charges : La forme rectangulaire, avec sa symétrie, supporte des charges normales élevées dans la direction Y en raison de la répartition des charges sur une plus grande surface.

##### 2. Forme en T :

Distribution asymétrique des forces : La forme en T présente une répartition des charges qui génère des efforts normaux légèrement inférieurs à ceux de la forme en L, mais toujours réduits par rapport à la forme rectangulaire.

Concentration des contraintes : Les projections asymétriques de la forme en T peuvent entraîner une redistribution plus efficace des charges, réduisant les efforts normaux.

##### 3. Forme en L :

Réduction des contraintes : La forme en L, avec ses projections, redistribue les charges de manière à réduire les contraintes normales, conduisant à une diminution des valeurs de NXX et NYY.

Effets de levier réduits : Les effets de levier créés par la géométrie en L peuvent contribuer à la réduction des efforts normaux.

#### Conclusion

Les résultats montrent que les formes géométriques complexes, comme les formes en L et en T, présentent des efforts normaux significativement inférieurs par rapport à la forme rectangulaire. La forme rectangulaire supporte des efforts normaux plus élevés, particulièrement dans la direction Y. Les formes en L et en T montrent une distribution plus équilibrée et réduite des efforts normaux, suggérant une meilleure répartition des charges.

#### 4.5.5 Effet de la forme en plan sur le moment $M_{xx}$ et $M_{yy}$ de voile

Le cas	TXX (T/m <sup>2</sup> )	TYY (T/m <sup>2</sup> )
FORME RECT	2.01	1.48
FORME L	0.08	0.34
FORME T	0.34	0.28

TABLEAU 4.10 : Valeurs de TXX et TYY pour différents cas

##### 4.5.5.1 Diagramme forme en plan l'interaction sur le moment $M_{xx}$ et $M_{yy}$ du voile

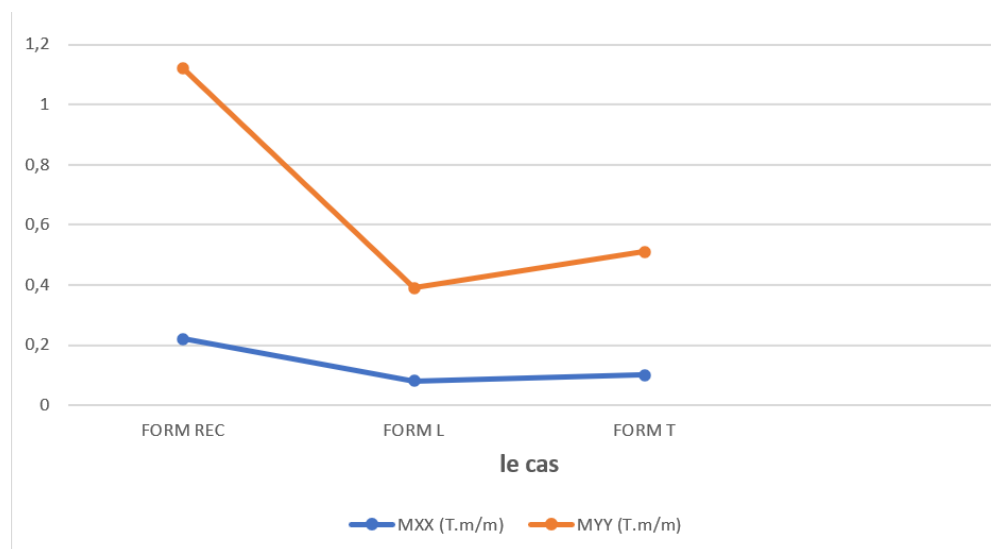


Figure 4.10 : Diagramme forme en plan l'interaction sur le moment  $M_{xx}$  et  $M_{yy}$  de voile

Le graphique présente les moments de flexion ( $M_{xx}$  et  $M_{yy}$ ) sur les voiles pour différentes formes de structures : rectangulaire, en L, et en T. Les moments sont mesurés en termes de  $M_{xx}$  et  $M_{yy}$ , représentant les moments de flexion dans les directions X et Y respectivement. Analyse des données

1. Forme rectangulaire (FORM REC) :

$M_{xx}$  (T.m/m) : Environ 0.2

$M_{yy}$  (T.m/m) : Environ 1.2

Pour la forme rectangulaire, les moments de flexion dans la direction Y ( $M_{yy}$ ) sont significativement plus élevés que ceux dans la direction X ( $M_{xx}$ ), indiquant une distribution asymétrique des moments de flexion.

2. Forme en T (FORM T) :

$M_{xx}$  (T.m/m) : Environ 0.1

$M_{yy}$  (T.m/m) : Environ 0.7

La forme en T présente des moments de flexion similaires à ceux de la forme en L pour  $M_{xx}$ , mais une légère augmentation de  $M_{yy}$  par rapport à la forme en L.

3. Forme en L (FORM L) :

$M_{xx}$  (T.m/m) : Environ 0.1

$M_{yy}$  (T.m/m) : Environ 0.6

La forme en L montre une réduction des moments de flexion par rapport à la forme rectangulaire dans les deux directions, avec une diminution plus marquée pour  $M_{yy}$ .

#### Raisons des variations

1. Forme rectangulaire :

Rigidité et distribution des charges : La forme rectangulaire, avec sa symétrie, supporte des moments de flexion élevés dans la direction Y en raison de la répartition des charges sur une plus grande surface.

2. Forme en T :

Distribution asymétrique des forces : La forme en T présente une répartition des charges qui génère des moments de flexion légèrement supérieurs à ceux de la forme en L pour  $M_{yy}$ , mais toujours réduits par rapport à la forme rectangulaire.

Concentration des contraintes : Les projections asymétriques de la forme en T peuvent entraîner une redistribution plus efficace des charges, réduisant les moments de flexion.

3. Forme en L :

Réduction des moments : La forme en L, avec ses projections, redistribue les charges de manière à réduire les moments de flexion, conduisant à une diminution des valeurs de  $M_{xx}$  et  $M_{yy}$ .

Effets de levier réduits : Les effets de levier créés par la géométrie en L peuvent contribuer à la réduction des moments de flexion.

#### Conclusion

Les résultats montrent que les formes géométriques complexes, comme les formes en L et en T, présentent des moments de flexion significativement inférieurs par rapport à la forme rectangulaire. La forme rectangulaire supporte des moments de flexion plus élevés, particulièrement dans la direction Y. Les formes en L et en T montrent une distribution plus équilibrée et réduite des moments de flexion, suggérant une meilleure répartition des charges

---

## Conclusion générale



L'étude comparative des formes géométriques des structures révèle des différences significatives dans leur comportement sous charges dynamiques. Les formes rectangulaires, en raison de leur symétrie et de leur distribution uniforme des masses et des rigidités, démontrent une stabilité et une performance sismique supérieures. Les déplacements totaux et les forces sismiques dans les directions X et Y sont plus équilibrés et généralement plus faibles, ce qui en fait une option de conception optimale pour les régions sismiques. Les formes en L et en T, bien que présentant certaines vulnérabilités dues à leur géométrie complexe, offrent des perspectives intéressantes avec des ajustements appropriés. Les analyses montrent que ces formes nécessitent des renforcements spécifiques et des modifications de conception pour améliorer leur résistance aux forces sismiques et réduire les effets de levier et les concentrations de contraintes.

En conclusion, le choix de la forme géométrique d'une structure joue un rôle crucial dans sa performance sismique. Les recommandations issues de cette étude fournissent des directives précieuses pour les ingénieurs et les concepteurs afin de créer des structures plus sûres et plus résilientes. Une approche intégrée, combinant une conception optimale et des renforcements appropriés, est essentielle pour maximiser la stabilité et la performance des bâtiments face aux forces sismiques.

---

# Bibliographie



Le séisme et les bâtiments Document d'information à l'usage du constructeur - VOLUME 3 Conçu par Mme Patricia BALANDIER

Le séisme et les sites constructibles Document d'information à l'usage du constructeur - VOLUME 1 Conçu par Mme Patricia BALANDIER

5. Règles parasismique Algérienne RPA99 version 2003 ; Document technique réglementaire D.T.R

<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s1/volcans.html>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/S><https://side.developpement-durable.gouv.fr/Default/doc/SYRA>  
d-information-sur-les-seismes-a-l-usage-du-constructeur?lg=fr-FR

<https://side.developpement-durable.gouv.fr/Default/doc/SYRACUSE/211170/document-d-information-sur-les-seismes-a-l-usage-du-constructeur?lg=fr-FR>

PFE DE BOUDJLIDA Amel HEBILA Rokia  
EFFET DE L'ANGLE D'INCIDENCE SISMIQUE  
SUR LES PERFORMANCES DYNAMIQUES DES BATIMENTS