

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

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT GENIE CIVIL



FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : STRUCTURES

N° :

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

Par: FELTANE ZAHIRA

LAKEHAL NADJAT

Intitulé

**Influence des poteaux faisant corps avec les voiles de
contreventement sur le comportement de ceux-ci et
sur la stabilité globale du bâtiment**

Soutenu devant le jury composé de:

Mr. Titoum Messaoud	Université M'sila	Président
Mr. Rahmani Yacine	Université M'sila	Examineur
Mr. Hamitouche Amar	Université M'sila	Encadreur

Année universitaire : 2020 /2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Je remercie Dieu, le directeur de la lumière après les ténèbres, je le loue, mon Seigneur, accorde-moi une bonne marche. Des paroles de remerciement et de gratitude que nous diffusons à vos oreilles :

Au paradis de Dieu sur terre, au pont qui nous monte au ciel, à ceux dont les prières étaient le secret de notre succès, à ceux qui nous ont comblés d'amour et de tendresse nos mères, à la lumière qui a illuminé notre chemin et à la lampe dont la lumière ne sort jamais et qui a fait des efforts au fil des années pour gravir les échelons du succès et de nos chers parents.

Merci, chers frères et sœurs, qui avez semé en nous l'esprit de persévérance et de diligence pour réaliser ce à quoi nous aspirons.

A ceux avec qui la plateforme du savoir et de l'amitié m'a réuni, nos collègues pour qui nous avons les plus hautes expressions d'amour, à tous nos professeurs qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours académique.

Merci.

Dieu vous bénisse et vous.

NADJAT ET LAURA

Remerciements

On Remercie dieu le tout puissant de nous avoir donnée la santé

Et la volonté d'entamer et de terminer.

Nous tenons à exprimer nos remerciements avec

Un grand plaisir et un grand respect à notre

Encadreur Mr. HAMTOUBOUCHE AMAR pour ses conseils, sa

Disponibilité et ses encouragements qui nous ont permis réaliser

Ce travail dans les meilleures conditions.

Nous remerciement s'adresse à Mr. Zine El Abidine Rahmouni,

Mr. Baali El Eid, Mes. Saoudi fatiha, Mr. Samir Zenan pour son

aide et son

Soutien moral et ses encouragements.

Atout les enseignements et les personnes ayant

Contribué de près ou loin à l'avancement de

Notre projet.

Merci à tous et à toutes

Résumé:

Ce travail vise à étudier l'effet des murs lorsqu'ils sont attachés ou séparés des colonnes sur la résistance et la stabilité des structures du bâtiment, et que le choix de la position appropriée pour les voiles permet l'utilisation d'une rigidité maximale, pour donner à ces dernières un bien meilleur comportement structurel, et donc ce résultat s'impose au niveau des concepteurs et de l'utilisation du test.

Pour tout projet étudié, différentes dispositions et caractéristiques doivent être prises en compte avant de choisir la conception finale, et ce projet fournit une étude détaillée pour la réalisation d'un immeuble résidentiel composé d'un rez-de-chaussée et de cinq autres étages dans la Wilayat de M'sila (Hammam Dalaa) classé dans la zone sismique IIa selon le National Center for Research Applied in Earthquake Résistance Engineering en utilisant de nouvelles règles pour le compte RPA V2003, BAEL91, CBA93.

Mots-clés :

Zone sismique, Voiles, rigidité, comportement dynamique, impact, colonnes.

ملخص:

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير الجدران عند تعلقها أو فصلها عن الأعمدة على قوة واستقرار هياكل المبنى، وأن اختيار الموضع المناسب لجدران القص يسمح باستخدام أقصى قدر من الصلابة، لإعطاء الأخير سلوكا هيكليا أفضل بكثير، وبالتالي يتم فرض هذه النتيجة على مستوى المصممين واستخدام الاختبار.

لأي مشروع مدروس، يجب مراعاة الأحكام والخصائص المختلفة قبل اختيار التصميم النهائي، ويقدم هذا المشروع دراسة مفصلة لتحقيق مبنى سكني يتكون من طابق أرضي وخمسة طوابق أخرى في ولاية مسيلة (حمام الضالع) مصنفة في المنطقة الزلزالية IIa وفقا للمركز القومي للبحوث المطبقة في هندسة مقاومة الزلازل باستخدام قواعد جديدة لحساب RPA V2003، BAEL91، CBA93.

الكلمات المفتاحية:

المنطقة الزلزالية، طوابق البناءات، مقاومة الأعمدة، جدران القص.

Abstract

This work aims to study the effect of the walls when they are attached or separated from the columns on the strength and stability of the structures of the building, and that the choice of the appropriate position for the sails allows the use of maximum rigidity, to give the latter a much better structural behavior, and therefore this result is imposed at the level of the designers and the use of the test.

For any project studied, different provisions and characteristics must be taken into account before choosing the final design, and this project provides a detailed study for the realization of a residential building consisting of a ground floor and five other floors in the Wilayat of M'sila (Hammam Dalaa) classified in the seismic zone IIa according to the National Center for Research Applied in Earthquake Resistance Engineering using new rules for the account RPA V2003, BAEL91, CBA93.

Keywords:

Seismic zone, Sails, stiffness, dynamic behavior, impact, columns.

SOMMAIRE

Introduction générale

Introduction	01
Problématique.....	01

CHAPITRE I : Etude bibliographique

Introduction	02
I.1 DEFINITION	03
I.3 CLASSIFICATION DES SYSTÈMES DE CONTREVENTEMENT (VOIR MODIFICATIFS ET COMPLEMENTS AUX RPA 99)	03
1.a Portiques auto stables en béton armé sans remplissage en maçonnerie rigide	04
1.b Portiques auto stables en béton armé avec remplissage en maçonnerie rigide.....	04
2. Système de contreventement constitué par des voiles porteurs en béton armé	05
3. Structure à ossature en béton armé contreventée entièrement par noyau en Béton armé	05
4. Système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portiques –voiles	05
5. Système de contreventement de structures en portiques par des voiles en béton armé	05
I.3 Apport des voiles de contreventement aux structures	06
I.4 Présentation des problèmes pathologiques liés à l'absence des voiles	06
I.4.1 Rez-de-chaussée souple en béton armé	06
I.4.2 Etages intermédiaires flexibles	07
I.4.3 Remplissages partie.....	08.....
I.4.4 Poteaux courts	10
I.4.5 Rotules plastique aux nœuds dans les poteaux.....	11
I.5 Présentation des problèmes pathologiques en présences des voiles	12
I.5.1 Distributions asymétriques des voiles.....	12
A. Centre de masse CMj	14
B. Centre de torsion CTi.....	14
C. Rigidités des voiles K	15
I.5.2 Voiles existants rendus inertes par défaut de conception non effective Exemple	15

SOMMAIRE

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

Introduction.....	18
II.1. Description géométrique, structurelle et fonctionnelles de la structure étudiée.....	18
II.1.1. Les vues en plan et en élévation du projet.....	19
II.2. Choix des dispositions des voiles à étudier.....	20
II.3. Présentation des règles utilisées.....	21
II.4. Présentation des réponses étudiées.....	21

Chapitre III : Analyse et présentation des résultats

Introduction.....	22
III.1. Analyse de la structure.....	22
III.1.1. Considérations générales liées à l'analyse.....	22
a. Logiciel utilisé.....	22
b. Cas de charges prises en considération.....	23
III.1.2. Considérations générales liées aux charges horizontales.....	23
a. Centre de masse, centre de rigidité et torsion des structures asymétriques sous charges horizontales.....	23
b. Satisfaction des exigences parasismiques du RPA.....	25
III.2. Présentation des résultats.....	27
III.2.1. Résultats d'analyse linéaire.....	27
III.2.2.1. La structure sans voiles de contreventement.....	27
a. La période fondamentale.....	27
b. La masse modale.....	28
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.....	28
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.....	28
e. La force sismique à la base.....	28
f. Vérification vis-à-vis $P-\Delta$	29
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.....	29
III.2.2.2. Etude des variantes.....	30
III.2.2.2.1. Variante 1.....	30
a. La période fondamentale.....	30

SOMMAIRE

b. La masse modale	31
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y	31
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux..	31
e. La force sismique à la base	32
f. Vérification vis-à-vis $P-\Delta$	32
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres	32
III.2.2.2. Variante 2	33
a. La période fondamentale	33
b. La masse modale	34
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y	34
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux..	34
e. La force sismique à la base	35
f. Vérification vis-à-vis $P-\Delta$	35
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres	35
III.2.2. Résultats d'analyse non linéaire.....	36
III.2.2.1. La structure sans voiles de contreventement	36
a. La période fondamentale	36
b. La masse modale	36
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y	37
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux..	37
e. La force sismique à la base	37
f. Vérification vis-à-vis $P-\Delta$	37
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres	38
III.2.2.2. Etude des variantes	39
III.2.2.2.1. Variante 1	39
a. La période fondamentale	39
b. La masse modale	40
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y	40
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux..	41
e. La force sismique à la base	41
f. Vérification vis-à-vis $P-\Delta$	42
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres	42

SOMMAIRE

III.2.2.2. Variante 2	43
a. La période fondamentale	43
b. La masse modale	43
c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y	44
d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux..	44
e. La force sismique à la base	44
f. Vérification vis-à-vis P- Δ	45
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres	45

Chapitre IV : Discussion et interprétation des résultats

Introduction.....	46
IV.1. Récapitulation des résultats	46
IV.1.1. Résultats d'analyse linéaire	46
IV.1.1.1. Présentation des résultats en graphs	47
a. Période	47
b. La masse modale	48
c. Déplacement inter-étage max	49
d. Déplacement total.....	49
e. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux	50
f. La force sismique à la base	51
IV.1.2. Résultats d'analyse non linéaire.....	52
IV.1.2.1. Présentation des résultats en graphs	53
a. Période	53
b. La masse modale	54
c. Déplacement inter-étage max	55
d. Déplacement total.....	56
e. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux	56
f. La force sismique à la base	57
IV.1.2.2 Discussion.....	57
IV.1.2.2.1 La Périodes.....	57
IV.1.2.2.2 Les masses modales en pourcentage	57
IV.1.2.2.3 La Masses modales cumulées en pourcentage.....	58
IV.1.2.2.4 Les déplacements relatifs.....	58

SOMMAIRE

IV.1.2.2.5 Le déplacement total.....	58
IV.1.2.2.6 Répartition des charges horizontales en pourcentage	58
IV.1.2.2.7 Force sismique à la base	58
IV.2 Influence de la prise en compte dans l'analyse des efforts et déplacements non linéaires dus l'effet P-Delta	58
Conclusion	59

Conclusions Générales

Conclusions.....	60
Références bibliographiques.....	62

Annexes

Vue en plan RDC	64
Vue en plan EC	65
Vue en plan Terrasse	66
Façade Principale	67
Façade Postérieur	68
COUPE A-A	69

LISTE DES FIGURE

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Rez-de-chaussée souple.	6
Figure I.2 : Destruction du RDC.	6
Figure I.3 : Séisme de Boumerdes, Algérie 2003.....	6
Figure I.4 : Etage intermédiaire flexible.	7
Figure I.5 : Séisme du Mexique, Mexico 1985.....	7
Figure I.6 : Cisaillement des poteaux d'une construction à Bordj el bahri. Séisme de 2003, Boumerdes, Algérie	7
Figure I.7 : Les remplissages partiels dans les cadres.	8
Figure I.8 : Des endommagements à cause de remplissage partiel.	8
Figure I.9 : Poteau court.....	9
Figure I.10 : Destruction par cisaillement du poteau court, poteau endommagée par le séisme de Boumerdes, Algérie.....	9
Figure I.11 : Détail de destruction des poteaux à cause du fonctionnement en "poteaux courts". .	9
Figure I.12 : Rupture de la zone nodale.....	11
Figure I.13 : Rotule dans le poteau (Comportement à éviter).....	11
Figure I.14 : Rotule dans la poutre (Comportement recherché).....	11
Figure I.15 : Destruction des bâtiments par torsion du béton armé, Séismes de Tangshan, Chine 1976 et de Spitak, Arménie 1988.....	12
Figure I.16 : Dommages dus à l'absence de contreventement longitudinal, séismes de San Fernando, Californie 1971 et d'Izmit, Turquie 1999.....	12
Figure I.17 : Bâtiment asymétrique.	12
Figure I.18 : Immeuble (R+4) ,140 logements à Dellys	

LISTE DES FIGURE

(Séisme de Boumerdes 2003), Algérie.	15
Figure I.19: Cage d'escalier en voiles séparée par des joints du reste de la structure.....	15
Figure I.20: Cage d'escalier utilisée comme contreventement de la structure.	16
Figure II.1: Vue en plan, RDC.....	18
Figure II.2: Vue en plan, Etage courant.....	18
Figure II.3: Vue en perspective.	18
Figure II.4 : Disposition des voiles de contreventements dans les deux variantes.	19
Figure III.1: SAP 2000.....	21
Figure IV.1 : Graphique des résultats de la période.	46
Figure IV.2 : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 1.	47
Figure IV.3 : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 2	47
Figure IV.4 : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 3.	48
Figure IV.5 : Graphique des résultats de déplacement inter-étages max.	48
Figure IV.6 : Graphique des résultats de déplacement total.	48
Figure IV.7 : Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens X-X.....	49
Figure IV.8 : Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens Y-Y.....	49
Figure IV.9 : Graphique des résultats de la force sismique à la base.	50
Figure IV.10 : Graphique des résultats de la période.....	52
Figure IV.11 : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 1.	53
Figure IV.12 : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 2.....	53
Figure IV.13 : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 3.....	54
Figure IV.14 : Graphique des résultats de déplacement inter-étages.....	54

LISTE DES FIGURE

Figure IV.15 : Graphique des résultats de déplacement total	55
Figure IV.16 : Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens X.....	55
Figure IV.17 : Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens-Y.	56
Figure IV.18 : Graphique des résultats de la force sismique à la base.....	56

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1: Les caractéristiques géométriques de la structure.....	17
Tableau III.1: coefficient d'accélération de zone A.	24
Tableau III.2: La période fondamentale de la structure Sans voiles de contreventement (Analyse linéaire).	26
Tableau III.3: La masse modale de la structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire).	27
Tableau III.4: Le déplacement des étages, structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire).	27
Tableau III.5: La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire).....	27
Tableau III.6: Vérification vis-à-vis P- Δ , structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire).	28
Tableau III.7: Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres, structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire).....	28
Tableau III.8: La période fondamentale V1 (Analyse linéaire).	29
Tableau III.9: La masse modale V1.	30
Tableau III.10: Le déplacement des étages V1 (Analyse linéaire).....	30
Tableau III.11: La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V1 (Analyse linéaire).	30
Tableau III.12: Vérification vis-à-vis P- Δ V1 (Analyse linéaire).	31
Tableau III.13: Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V1 (Analyse linéaire).	31
Tableau III.14: La période fondamentale V1 (Analyse linéaire).	32
Tableau III.15: La masse modale V1.	33
Tableau III.16: Le déplacement des étages V1 (Analyse linéaire).....	33
Tableau III.17: La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V1	

LISTE DES TABLEAUX

(Analyse linéaire).	33
Tableau III.18: Vérification vis-à-vis P- Δ V1 (Analyse linéaire).	34
Tableau III.19: Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V1 (Analyse linéaire).	34
Tableau III.20: La période fondamentale de la structure Sans voiles de contreventement (Analyse non linéaire).....	35
Tableau III.21: La masse modale de la structure sans voiles de contreventement (Analyse non linéaire).....	35
Tableau III.22: Le déplacement des étages, structure sans voiles de contreventement (Analyse non linéaire).....	36
Tableau III.23: La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, structure sans voiles de contreventement (Analyse non linéaire).	36
Tableau III.24: Vérification vis-à-vis P- Δ , structure sans voiles de contreventement (Analyse non linéaire).....	37
Tableau III.25: Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres, structure sans voiles de contreventement (Analyse non linéaire).	37
Tableau III.26: La période fondamentale V1 (Analyse non linéaire).	38
Tableau III.27: La masse modale V1.	39
Tableau III.28: Le déplacement des étages V1 (Analyse non linéaire).....	39
Tableau III.29: La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V1 (Analyse non linéaire).....	40
Tableau III.30: Vérification vis-à-vis P- Δ V1 (Analyse non linéaire)	40
Tableau III.31: Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V1 (Analyse non linéaire).....	41
Tableau III.32: La période fondamentale V1 (Analyse non linéaire).	42
Tableau III.33: La masse modale V1.	42
Tableau III.34: Le déplacement des étages V1 (Analyse non linéaire).....	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.35: La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V1 (Analyse non linéaire).....	43
Tableau III.36: Vérification vis-à-vis P- Δ V1 (Analyse non linéaire).	44
Tableau III.37: Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V1 (Analyse non linéaire).....	44
Tableau IV.1: Tableau récapitulatif des résultats de calcul des variantes (Sans l'effet P-delta).....	45
Tableau IV.2 : Tableau récapitulatif des résultats de calcul des variantes (avec l'effet P-Delta).	51

LISTE DES SYMBOLES

LISTE DES SYMBOLES

A : Coefficient d'accélération de zone.

C_T : Coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage.

C_{Mi}: Centre de masse.

C_{Ri}: Centre de cisaillement.

C_{Ti}: Centre de torsion.

D : Facteur d'amplification dynamique moyen.

E : module de Young.

F : La force unitaire $F=1$.

h_N : Hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure.

h_k : La hauteur d'étage « k ».

I : Moment d'inertie.

K : Rigidités des voiles.

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

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

L_x: Longueur totale de la structure.

L_y: Largueur totale de la structure.

m_i: La masse sismique de l'étage.

P_k : Poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau «k».

Q : Facteur de qualité de la structure.

R : Coefficient de comportement global de la structure.

T₂ : Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.

V : Effort tranchant.

V_k : Effort tranchant d'étage au niveau « k ».

V_x: La force sismique à la base selon X.

V_y: La force sismique à la base selon Y.

LISTE DES SYMBOLES

W : Poids total de la structure.

W_G : Poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure.

W_G : Charges d'exploitation.

x_{Gi} ; y_{Gi} : Les coordonnées de la position du centre de gravité C_{Mi} de l'étage.

x_{Ti} ; y_{Ti} : Les coordonnées de la position du centre de torsion C_{Ti} de l'étage.

β : Coefficient de pondération.

η : Facteur de correction d'amortissement.

Δ_k : Déplacement relatif du niveau « k » par rapport au niveau « k-1 ».

Δ_x : Le déplacement selon le sens x-x.

Δ_y : Le déplacement selon le sens y-y.

EC : Etage courant.

RDC : Rez-de-chaussée.

RPA99V2003 : Règles parasismiques algériennes 1999 version 2003.

INTRODUCTION

Générale

Introduction

L'utilisation des voiles en béton armé dans les structures est l'un des moyens de contreventement le plus fréquent du fait que ces éléments présentent un comportement très satisfaisant vis-à-vis des charges latérales. Ils jouent donc un rôle primordial dans la sécurité et la stabilité des constructions lors des séismes. Un des objectifs actuels dans le domaine de la recherche est l'amélioration des méthodes d'évaluation du comportement non linéaire des voiles lors d'un séisme majeur. En effet, une bonne analyse de ce comportement exige des approches de modélisation très complexes pour être considérées comme fiables et robustes. Plusieurs techniques de modélisations ont été proposées par plusieurs chercheurs variant des modèles relativement simplifiés à des modèles très raffinés.

Problématique :

Dans la pratique du contreventement, lorsque celui-ci est prescrit au voisinage des poteaux, le collage est souvent laissé au choix de l'entreprise ; qui sans directives précises, opte le choix le plus facile entre le collage du voile et du poteau en bloc ou de les séparer. La question qui se pose : du point de vue stabilité et résistance du bâtiment entier et de ses éléments quel est le choix meilleur.

Cette étude vise à étudier le comportement en résistance et déformation de ces deux éléments et leur effet sur la stabilité générale et le comportement des autres éléments porteurs.

Ce projet est étudié selon les étapes suivantes :

- ❖ **Chapitre I :** Il comprend une présentation des différents problèmes pathologiques affectant la construction à un moment donné du séisme, et qui sont liés à la position des voiles par rapport aux poteaux.
- ❖ **Chapitre II :** Présentation du bâtiment étudié, des différents choix d'emplacement des contreventements, et des réponses étudiées
- ❖ **Chapitre III :** Ce chapitre traite de l'analyse et de l'extraction des résultats pour diverses variables à l'aide du programme SAP2000V14.
- ❖ **Chapitre VI :** résume l'analyse des résultats obtenus à partir du chapitre précédent (le troisième chapitre) à l'aide de tableaux et graphes pour faciliter la conclusion concernant chaque paramètre étudié, ensuite une discussion de ces résultats est menée. Enfin, des conclusions générales de l'étude ont été récapitulées et présentées.

CHAPITRE

I

Introduction:

Le système de contreventement est constitué de l'ensemble des éléments structurels participant de façon non négligeable au transfert des actions horizontales créées du fait du mouvement sismique, par effet inertiel dans l'ouvrage. Les accélérations sismiques sont appliquées à toutes les masses présentes dans l'ouvrage, qu'elles soient ou non associées à des éléments structurels, et les actions sismiques sont donc en général réparties dans l'ouvrage. Elles doivent être transmises de leur point d'application aux fondations, ce qui implique des résistances locales des éléments, y compris les éléments non structuraux, et la résistance principale des éléments de contreventement, qui concentrent les efforts pour les transmettre aux fondations. Ces cheminements d'efforts doivent être analysés et les points faibles mis en évidence pour établir la cohérence de l'ensemble pour un niveau d'action donné.

S'il est nettement préférable que les éléments de contreventement soient continus du haut en bas de l'ouvrage, cela n'est pas une nécessité absolue si des éléments horizontaux (en général des planchers) sont capables de reporter les efforts d'un élément vertical à un autre quand on passe d'un niveau à un autre. Ainsi, même si les éléments verticaux sont continus, les éléments horizontaux jouent un rôle très important dans le contreventement car ils permettent de répartir les efforts entre les éléments verticaux, notamment pour palier la défaillance de l'un d'entre eux. Il y a lieu de s'assurer de la continuité des éléments entre eux, c'est à dire de leur capacité à transmettre les efforts impliqués dans leur rôle de contreventement. On peut donc résumer le rôle des contreventements comme suit :

- 1) Assurer la stabilité des constructions non auto stables vis-à-vis des charges horizontales (celle des structures auto stables étant assurée intrinsèquement), donc de transmettre ces charges jusqu'au sol.
- 2) De raidir les constructions, car les déformations excessives de la structure sont source de dommages aux éléments non structuraux et à l'équipement. Dans le cas d'une construction parasismique, le contreventement comporte obligatoirement deux familles d'éléments :
 - a. Diaphragmes (contreventement horizontal).
 - b. Eléments verticaux de contreventement.

I.1 DEFINITION :

En génie civil, un contreventement est un système statique destiné à assurer la stabilité globale d'un ouvrage vis-à-vis des effets horizontaux issus des éventuelles actions sur celui-ci (par exemple : vent, séisme, choc, freinage, etc.). Il sert également à stabiliser localement certaines parties de l'ouvrage (poutres, poteaux) relativement aux phénomènes d'instabilité (flambage ou déversement).

Afin d'assurer la stabilité globale d'un bâtiment, il est nécessaire que celui-ci soit contreventé selon au moins 3 plans verticaux non colinéaires et un plan horizontal ; on distingue donc les contreventements verticaux (destinés à transmettre les efforts horizontaux dans les fondations) des contreventements horizontaux (destinés à s'opposer aux effets de torsion dus à ces efforts).

Un contreventement peut être réalisé par des voiles (contreventements verticaux) ou des plaques (contreventements horizontaux) en béton armé, en maçonnerie, en bois ou en tôle ondulée ; ou par des treillis en bois ou en acier.

I.2 CLASSIFICATION DES SYSTÈMES DE CONTREVENTEMENT (VOIR MODIFICATIFS ET COMPLEMENTS AUX RPA 99) :

L'objet de la classification des systèmes structuraux se traduit, dans les règles et méthodes de calcul, par l'attribution pour chacune des catégories de cette classification, d'une valeur numérique du coefficient de comportement R (voir tableau 4.3.) La classification des systèmes structuraux est faite en tenant compte de leur fiabilité et de leur capacité de dissipation de l'énergie vis-à-vis de l'action sismique, et le coefficient de comportement correspondant est fixé en fonction de la nature des matériaux constitutifs, du type de construction, des possibilités de redistribution d'efforts dans la structure et des capacités de déformation des éléments dans le domaine post-élastique.

Les systèmes de contreventement retenus dans les présentes règles sont classés selon les catégories suivantes :

Pour les structures en béton armé le RPA99 prescrit la classification suivante :

1a. Portiques auto stables en béton armé sans remplissage en maçonnerie rigide :

C'est une ossature constituée uniquement de portiques capables de reprendre la totalité des sollicitations dues aux charges verticales et horizontales.

Pour cette catégorie, les éléments de remplissage ne doivent pas gêner les déformations des portiques (cloisons désolidarisées ou cloisons légères dont les liaisons ne gênent pas le déplacement des portiques)

Par ailleurs les bâtiments concernés ne doivent pas dépasser 7 niveaux ou 23 m en zone I, 5 niveaux ou 17m en zone II et 2 niveaux ou 8m en zone III.

1b. Portiques autostables en béton armé avec remplissage en maçonnerie rigide :

C'est une ossature constituée uniquement de portiques capables de reprendre la totalité des sollicitations dues aux charges verticales et horizontales.

Pour cette catégorie, les éléments de remplissage de la structure sont constitués par des murs en maçonnerie de petits éléments insérés dans le cadre poteaux-poutres dont l'épaisseur (hors crépissage) ne dépasse pas 10 cm (exception faite pour les remplissages périphériques ou les séparations entre deux (2) logements ou deux locaux d'un même niveau ou une deuxième paroi de 5 cm , du côté intérieur est tolérée ; Cette dernière peut éventuellement avoir une épaisseur de 10 cm à condition qu'elle ne soit pas insérée dans les cadres poteaux-poutres pour ne pas aggraver les phénomènes d'interaction maçonnerie –structure).

En outre les remplissages concernés doivent être disposés en plan aussi symétriquement que possible par rapport au centre de masse de chaque étage de façon à ne pas aggraver une dissymétrie éventuelle du système de contreventement en béton armé de l'étage(portique auto stable).

Les bâtiments concernés ne doivent par ailleurs pas dépasser 6 niveaux ou 20m. En zone I et II et 2 niveaux ou 8m en zone III.

2. Système de contreventement constitué par des voiles porteurs en béton armé :

Le système est constitué de voiles uniquement ou de voiles et de portiques. Dans ce dernier cas les voiles reprennent plus de 20% des sollicitations dues aux charges verticales. On considère que la sollicitation horizontale est reprise uniquement par les voiles.

3. Structure à ossature en béton armé contreventée entièrement par noyau en béton armé

Le bâtiment est dans ce cas-là contreventé entièrement par un noyau rigide en béton armé qui reprend la totalité de l'effort horizontal.

4. Système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portiques –voiles :

- Les voiles de contreventement doivent reprendre au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales.

Les charges horizontales sont reprises conjointement par les voiles et les portiques proportionnellement à leurs rigidités relatives ainsi que les sollicitations résultant de leurs interactions à tous les niveaux.

Les portiques doivent reprendre, outre les sollicitations dues aux charges verticales, au moins 25% de l'effort tranchant d'étage.

5. Système de contreventement de structures en portiques par des voiles en béton armé :

- Dans ce cas les voiles reprennent au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales et la totalité des sollicitations dues aux charges horizontales

On considère que les portiques ne reprennent que les charges verticales. Toutefois, en zone sismique III, il y a lieu de vérifier les portiques sous un effort horizontal représentant 25% de l'effort horizontal global.

Avec ce système de contreventement les bâtiments sont limités en hauteur à 10 niveaux ou 33 m au maximum.

I.3 Apport des voiles de contreventement aux structures :**Les principaux apports sont :**

- La limitation des déformations latérales.
- La protection - par leur rigidité - des éléments non-structuraux.
- De pallier le problème posé par la réalisation des nœuds des portiques.

I.4 Présentation des problèmes pathologiques liés à l'absence des voiles :

Les cas pathologiques les plus courants sont :

I.4.1 Rez-de-chaussée souple en béton armé :

Durant la secousse sismique d'un bâtiment, le mouvement de sol recherche les points faibles dans la structure. Ces faiblesses sont habituellement créées par les changements pointus de la rigidité, de la résistance et/ou de la ductilité. [1]

Lorsqu'un niveau est significativement moins rigide que le niveau immédiatement supérieur, est appelé « niveau souple ». Les déformations de la construction provoquées par les séismes sont concentrées sur ce niveau. Si elles deviennent importantes, ce qui se produit lors de séismes forts ou moyens, la structure ne peut les tolérer. Une conséquence fréquente est l'écrasement du niveau. [2]

Les dommages structuraux graves subis par plusieurs bâtiments modernes pendant des séismes récents illustrent l'importance d'éviter les changements soudains de la rigidité et des forces latérales. [1]

L'effet de niveau souple se produit généralement en rez-de-chaussée d'immeubles, principalement pour deux raisons. D'une part, les rez-de-chaussée comportent souvent de vastes locaux sans cloisons, une façade vitrée ou de nombreuses ouvertures. D'autre part, leur hauteur est souvent plus grande que celle des autres niveaux (cas des locaux de commerces). [2]

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

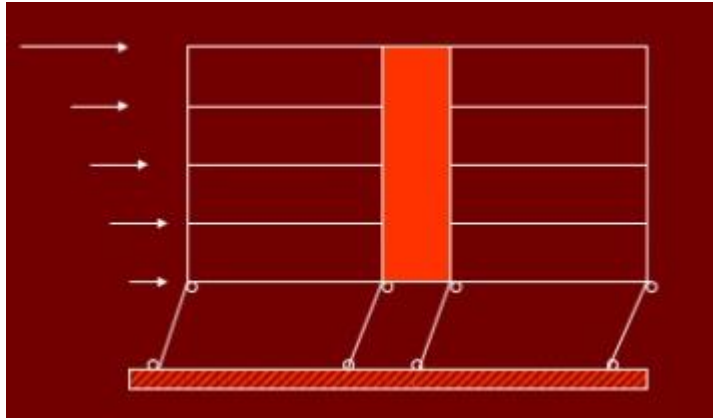


Figure I.1 : Rez-de-chaussée souple [3].



Figure I.2 : Destruction du RDC. [3]



Figure I.3 : Séisme de Boumerdès, Algérie 2003. [3]

I.4.2 Etages intermédiaires flexibles :

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

L'absence de cloisons et/ou de murs extérieurs dans un étage par rapport aux étages supérieurs, entraîne une diminution de sa rigidité relative qui peut affecter de manière significative la stabilité de l'ensemble de la structure. [2]

Cet étage peut également être plus flexible que d'autres s'il est équipé de dispositifs de résistance plus faible ou si ces dispositifs soient endommagés ou totalement déficients. Il arrive également que la faible résistance finale du niveau réduirait drastiquement les

Caractéristiques de rigidité et de résistance sur une certaine hauteur dans toute la partie supérieure du bâtiment, ce qui soumis à un mécanisme redouté les colonnes (ou l'étage). [3]

Du point de vue règlement parasismique algérienne RPA 99, version 2003, ces situations ne sont pas interdites mais deux articles sont introduits pour prescrire les mesures à prendre pour limiter leurs effets. Ces articles concernent la limitation du déplacement relatif entre les étages (article 5.10) et la prise en compte de l'effet du P-Delta (article 5.9). [4]

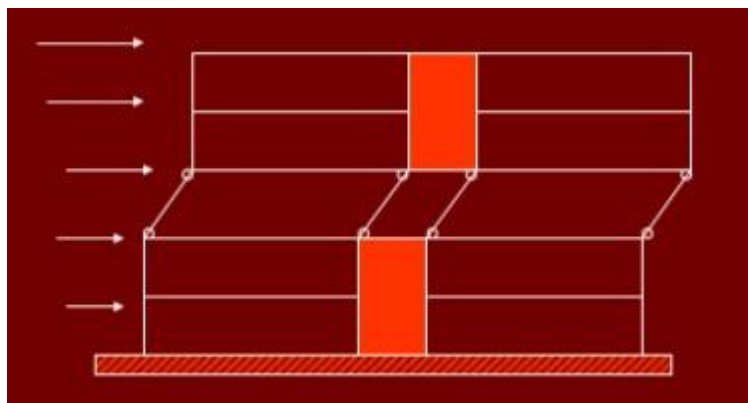


Figure I.4 : Etage intermédiaire flexible. [3]



Figure I.5: Séisme du Mexique, Mexico 1985. [3]



Figure I.6: Cisaillement des poteaux d'une construction à Bordj el bahri. Séisme de 2003, Boumerdes, Algérie. [3]

I.4.3 Remplissages partiels :

Ce type de structures très vulnérables doit être d'une utilisation très restreinte voir même définitivement interdites dans les zones de moyenne à forte sismicité et de les substituer par des structures mixtes. Le remplissage partiel des panneaux entre les éléments d'ossature crée

un problème de tronçon court qui peut changer le comportement de ces éléments avec un mécanisme de rupture différent. On peut éviter l'effet néfaste du remplissage partiel des cadres, ou le réduire notablement, en disposant des joints entre les colonnes et le remplissage. [5]

L'endommagement des éléments structuraux par écrasement de béton et flambement des armatures longitudinales, ce poteau est sollicité par un effort normal très important et le remplissage applique des contraintes de confinement qui offre au poteau une résistance en compression importante sur la hauteur du mur et ça crée une section courte qui est moins résistante. [5]

Lors du calcul du ferrailage des éléments des structures, il faut tenir compte du remplissage partiel car ce dernier peut nous produire des ruptures par effort tranchant des sections courtes qui ne sont pas calculées pour résister cette sollicitation. [5]

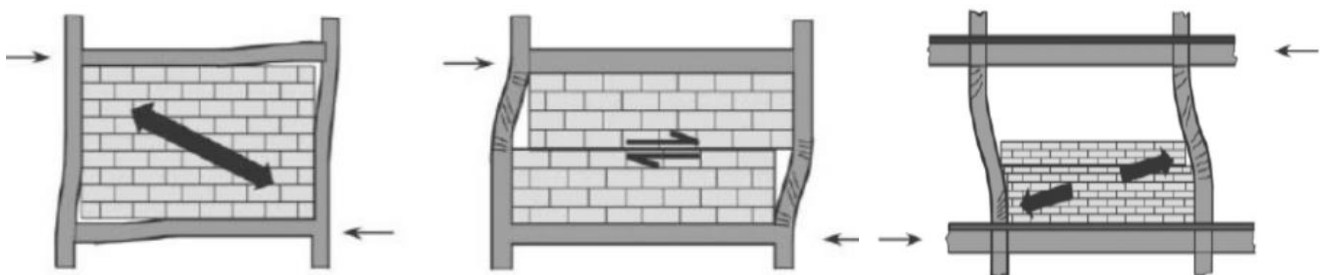


Figure I.7 : Les remplissages partiels dans les cadres. [6]



Figure I.8 : Des endommagements à cause de remplissage partiel. [3]

I.4.4 Poteaux courts :

Les efforts de cisaillement dans les poteaux sont souvent plus importants lorsque l'élançement géométrique du poteau est faible, et on désigne par poteau court un poteau dont l'élançement géométrique est inférieur à 5, une attention particulière est accordée par le RPA 99 version 2003 au cas de poteaux courts (l'article 7.4.3.2). [8]

Domage en raison d'un effort de cisaillement cyclique avec un faible moment fléchissant sous un effort axial de compression très élevé conduit au phénomène des poteaux courts. [1]

La forme finale ultime de ce type de dommages est l'échec explosif où l'éclatement de la surface extérieure du béton sans dommages des armatures ; puis l'écrasement du béton, rupture des cadres et flambement des armatures. Les poteaux courts mènent habituellement à l'effondrement total du bâtiment. [1]

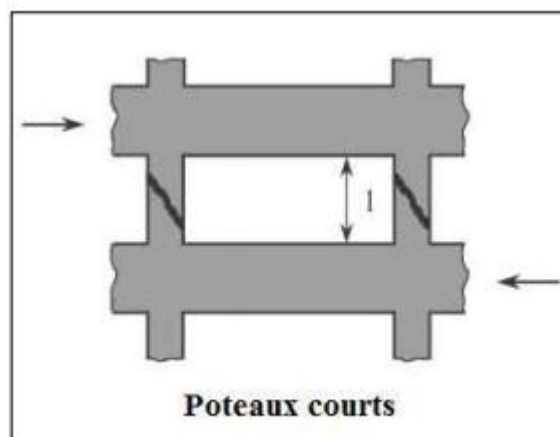


Figure I.9: Poteau court [3].



Figure I.10: Destruction par cisaillement du poteau court, poteau endommagée par le séisme de Boumerdes, Algérie. [4]



Figure I.11: Détail de destruction des poteaux à cause du fonctionnement en "poteaux courts" [1].

I.4.5 Rotules plastique aux nœuds dans les poteaux :

Sous un chargement sismique, l'apparition des rotules plastiques se fait aux extrémités des éléments structuraux, de préférence dans les poutres. La dissipation de l'énergie sismique se fait à travers l'apparition de ses rotules plastiques ; zone d'un élément de structure (poutre, poteau ou voile) subissant des déformations irréversible, la rotule plastique est capable de dissiper de l'énergie sous sollicitations alternées. Au-delà d'un seuil de sollicitation, elle se comporte comme une articulation autorisant la rotation des autres parties de l'élément. [8]

L'article 7.6.2 du RPA 99 version 2003 exige la vérification de la somme des moments résistants ultimes dans les zones nodales poteau-poutre. Pour que la rotule plastique se forme dans les poutres plutôt que dans les poteaux, cet article recommande que les moments résistants des poteaux soient au moins 25% plus forts que ceux des poutres. On voit bien l'effet poutre forte/poteau faible. Par contre le poteau est assez fort pour que la rotule se produise dans la poutre. [8]

Même si le poteau est suffisamment et correctement armé, tant en armatures longitudinales qu'en cadres (béton bien confiné), ce ci reste insuffisant. En effet, lors d'un fort mouvement horizontal, le poteau «faible» va faire effondrer la structure, le principe 'poteau fort-poutre faible' induit une plastification dans la poutre; Le poteau est ainsi libéré, avec un moment réduit. Le plancher reste accroché et la structure, qui demeure sans risque d'effondrement. [9]

Il a été constaté que ce mode de ruine par formation de rotules plastiques dans les poteaux était le plus courant et a constitué la cause principale de l'effondrement total ou partiel de la majorité des constructions n'ayant pas résisté. [10]



Figure I.12: Rupture de la zone nodale. [10]



Figure I.13: Rotule dans le poteau
(Comportement à éviter). [10]



Figure I.14: Rotule dans la poutre (Comportement
recherché). [10]

I.5 Présentation des problèmes pathologiques en présence des voiles :

I.5.1 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. [11]

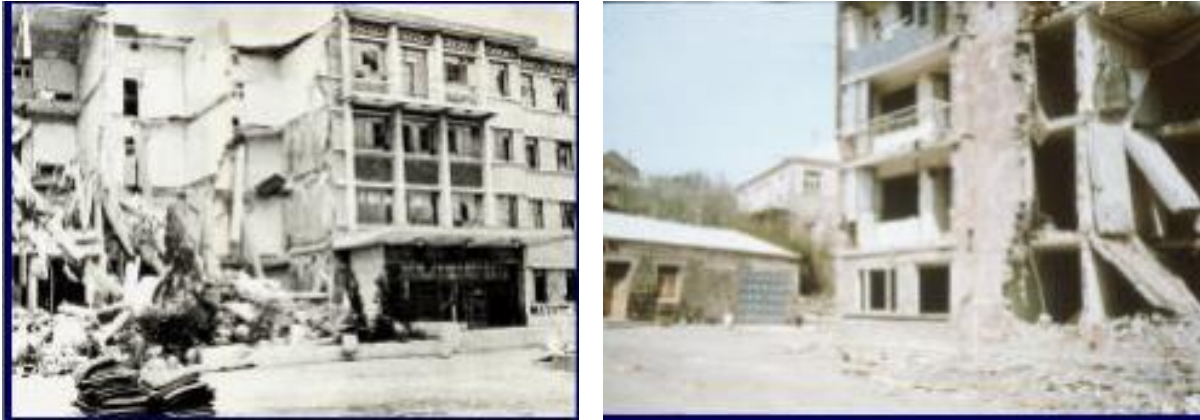


Figure I.15: Destruction des bâtiments par torsion du béton armé, Séismes de Tangshan, Chine 1976 et de Spitak, Arménie 1988. [3]



Figure I.16: Dommages dus à l'absence de contreventement longitudinal, séismes de San Fernando, Californie 1971 et d'Izmit, Turquie 1999. [3]

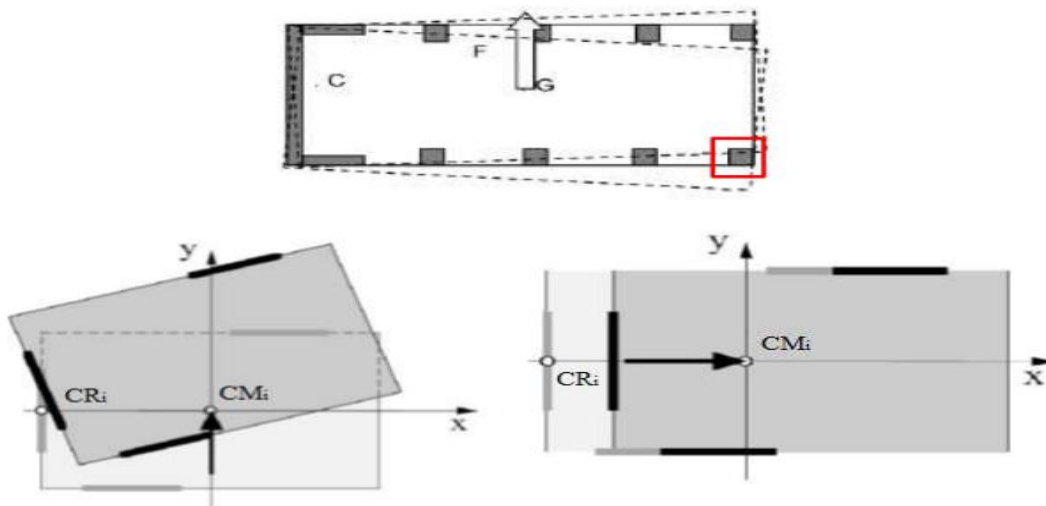


Figure I.17: Bâtiment asymétrique. [6]

CM_i: Centre de masse.

CR_i: Centre de cisaillement.

A. Centre de masse CM_i:

Il est lié à la notion de masse m et représente le point central de l'ensemble de toutes les masses constituant un objet ou un système matériel et est confondu avec le centre de gravité G .

On a:

$$\begin{cases} X_{cm} = \frac{\sum m_i \cdot X_{Gi}}{\sum m_i} \\ Y_{cm} = \frac{\sum m_i \cdot Y_{Gi}}{\sum m_i} \end{cases} \quad (I.1)$$

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

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

B. Centre de torsion CT_i :

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

$$\begin{cases} X_{Ct} = \frac{\sum K_{yi} \cdot X_{ti}}{\sum K_{yi}} \\ Y_{Ct} = \frac{\sum K_{xi} \cdot Y_{ti}}{\sum K_{xi}} \end{cases} \quad (I.2)$$

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

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

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

C. Rigidités des voiles K:

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

$$\left[\begin{array}{l} K_{Xi} = \frac{12.EI}{h^3} \\ K_{Yi} = \frac{12. EI}{h^3} \end{array} \right. \quad (I.3)$$

Avec: **h**: La hauteur d'étage.

E: module de Young.

I: Moment d'inertie.

Ou:

$$\left[\begin{array}{l} K_{Xi} = \frac{F}{\Delta_x} \\ K_{Yi} = \frac{F}{\Delta_y} \end{array} \right. \quad (I.4)$$

Avec : **F** : la force unitaire $F= 1 \text{ t}$.

Δ_x : Le déplacement selon le sens x-x.

Δ_y : Le déplacement selon le sens y-y.

I.5.2 Voiles existants rendus inertes par défaut de conception non effective :

Exemple:

Cage d'ascenseur ou d'escalier séparée.

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



Figure I.18: Immeuble (R+4) ,140 logements à Dellys (Séisme de Boumerdes 2003), Algérie.
[3]

Cet immeuble qui a perdu son rez-de-chaussée et deux étages présentait un grave défaut de conception en isolant les blocs d'habitation en portiques de la cage d'escalier en voiles (donc les voiles de la cage sont rendus inefficaces vis-à-vis du contreventement parce qu'ils sont isolés du reste de la structure par des joints). [12]

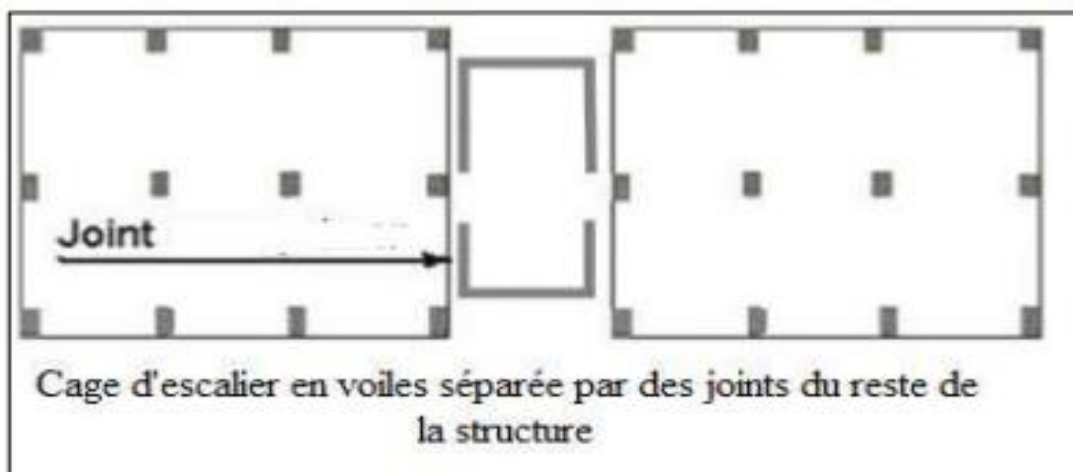


Figure I.19: Cage d'escalier en voiles séparée par des joints du reste de la structure. [12]

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

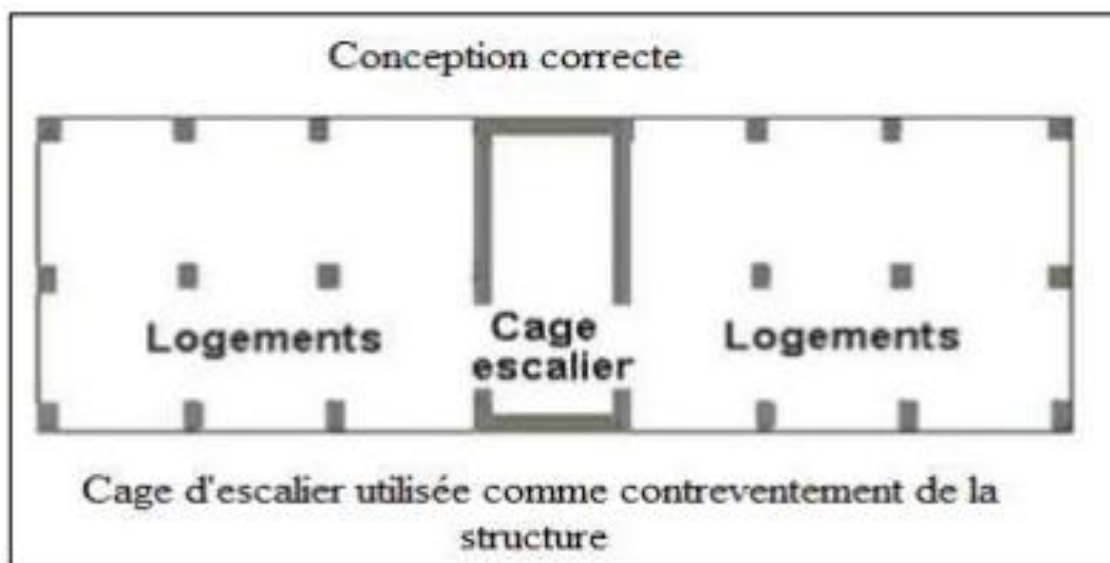


Figure I.20: Cage d'escalier utilisée comme contreventement de la structure. [1]

CHAPITRE

II

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

Introduction:

Dans ce chapitre, nous verrons une présentation du bâtiment en question, des dispositions des voiles proposées (cas des poteaux collés aux voiles et cas des poteaux séparés des voiles), des règles utilisées et des réponses étudiées.

II.1 Description géométrique, structurelle et fonctionnelles de la structure étudiée:

La structure étudiée est un bâtiment (R+5) à usage d'habitation en forme de L situé à Hammam el Dalaa Wilaya de M'sila.

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

Les caractéristiques	Dimension en (m)
Hauteur du RDC	3.06 m
Hauteur des étages courants	3.06 m
Hauteur totale du bâtiment	18.36 m
Longueur totale du bâtiment en plan	21.45 m
Largeur totale du bâtiment en plan	19.69 m

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

Selon le règlement parasismique algérien RPA99 "version 2003" La commune de Hammam el Dalaa appartient à une zone de sismicité moyenne (zone IIa), le bâtiment en question est classé comme un ouvrage d'importance moyenne (Groupe 2), le sol de fondation est classé de catégorie S3 car le rapport du sol indique que le sol du site est meuble, le contreventement prévu est un système de portique contreventé par voiles donc le coefficient de comportement $R= 4$ et le facteur de qualité $Q = 1.2$. (Bâtiment non régulier en plan $p=0.05$, + les pénalités dues aux matériaux et à l'exécution).

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

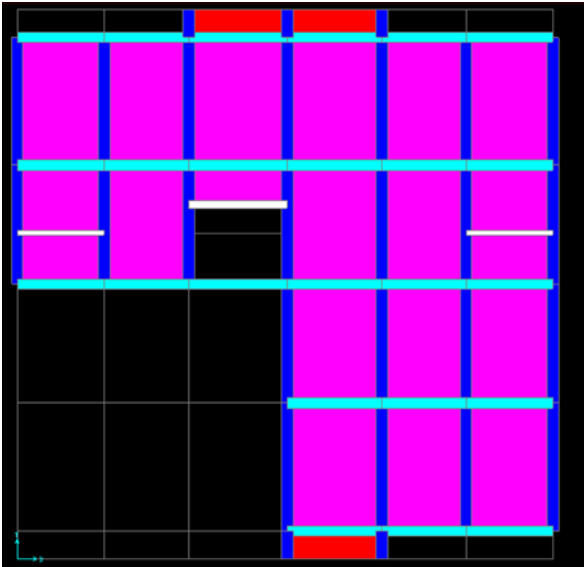


Figure II.1: Vue en plan, RDC

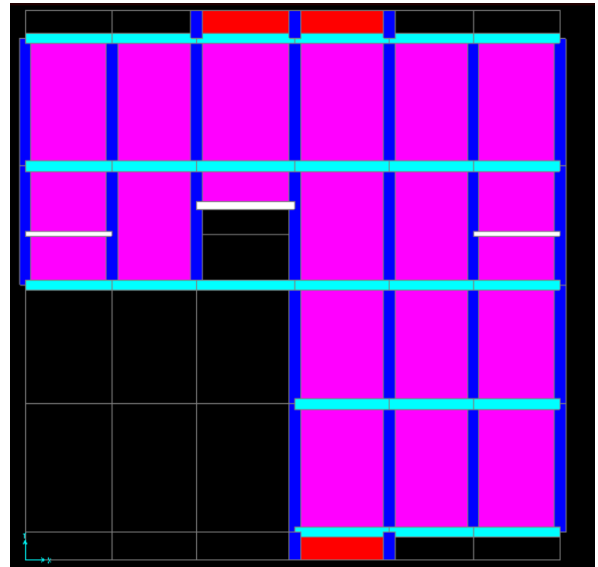


Figure II.2: Vue en plan, Etage courant

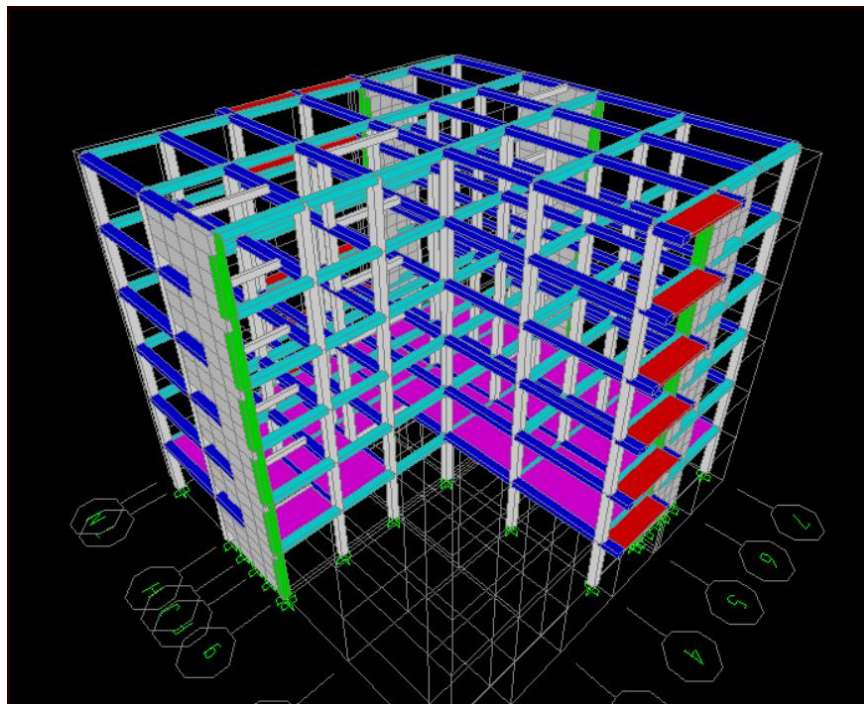


Figure II.3: Vue en perspective

II.2 Choix des dispositions des voiles à étudier:

Afin de ne pas soumettre la structure à une torsion d'axe vertical, les différents codes parasismiques préconisent la répartition symétrique des éléments de contreventement par rapport au centre de gravité du niveau. [13]

En génie civil, un poteau est un élément élancé et libre qui peut avoir un siège encastré de chaque côté.

Les poteaux collés aux voiles c'est-à-dire coulés avec les voiles et formant un mono bloc avec ceux-ci, ne peuvent pas être considérés comme des poteaux d'où on propose leur modélisation soit comme partie du voile ayant une épaisseur égale à la largeur du poteau à cet endroit, ou de les modélise en tant que poteaux qui seront subdivisés en hauteur de la même manière que les voiles adjacents mais en imposant une liaison entre leurs nœuds et ceux de ces voiles.

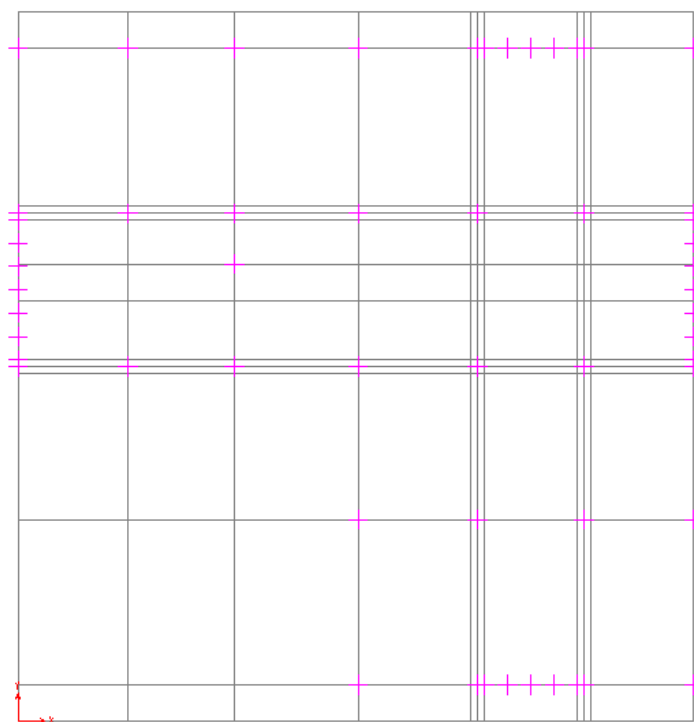


Figure II.4: Disposition des voiles de contreventements dans les deux variantes

II.3 Présentation des règles utilisées :

Nous menons l'étude de ce bâtiment conformément aux règles suivantes :

- **RPA99/2003** (règles parasismique Algériennes version 2003).
- **BAEL 91** (béton armé aux états limites).
- **CBA93** (règles de conception et de calcul des structures en béton armé)

II.4 Présentation des réponses étudiées:

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

- a. La période fondamentale.
- b. La masse modale.
- c. Le déplacement des étages dans les deux directions x et y.
- d. La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux.
- e. La force sismique à la base.
- f. Vérification vis-à-vis $P-\Delta$.
- g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres.

CHAPITRE

III

Introduction :

Dans ce chapitre nous commençons par des considérations générales liées à l'analyse : une brève description du logiciel utilisé, les cas de charges prises en compte et les considérations liées aux charges horizontales, ensuite nous présenterons les résultats pour les réponses étudiées pour les variantes structurelles adoptées.

III.1 Analyse de la structure:

III.1.1 Considérations générales liées à l'analyse:

a. Logiciel utilisé:

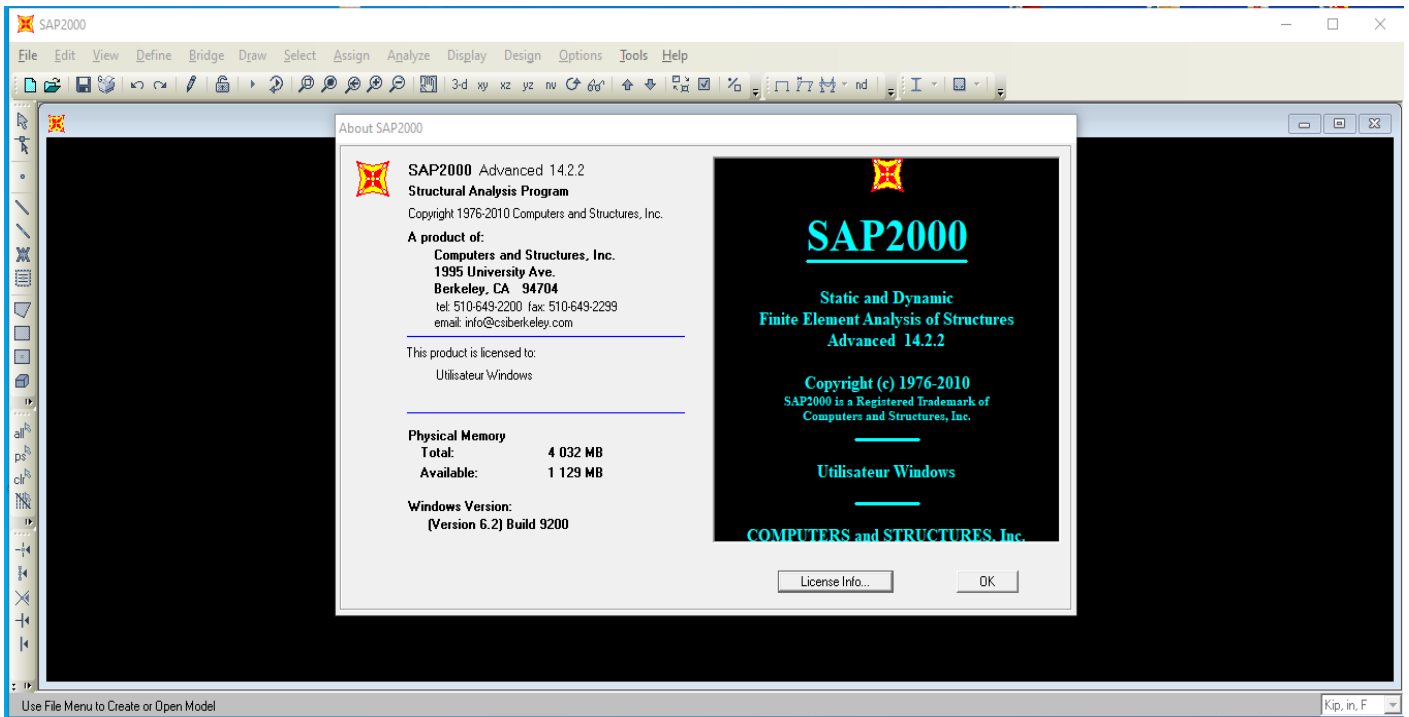


Figure: SAP 2000.

SAP 2000: est un logiciel de calcul des structures de génie civil (bâtiments, ouvrages d'art, ouvrages hydraulique....). Il offre de nombreuses possibilités d'analyse des effets statiques et dynamiques avec des compléments de conception. Il permet aussi la vérification des structures en béton armé ou en charpente métallique. L'interface graphique disponible facilite, considérablement, la modélisation et l'exploitation des résultats.

-Les sollicitations M, N et T dans les poteaux et les poutres sont donnés par le logiciel « SAP 2000 ».

b. Cas de charges prises en considération:

Les cas des charges considérés dans les calculs sont:

✚ Les charges permanentes G:

- Le poids propre de la structure.
- Les charges des planchers :
 - ✓ Plancher terrasse : **Corps creux: G = 6.20 KN/m².**
 - ✓ Plancher Etage Courant : **Corps creux: G = 5.4 KN/m².**
 - ✓ Balcon: **Balcon terrasse: G = 3.07 KN/m².**

Balcon EC: G = 2.1 KN/m².

- ✓ Les murs : **Mur extérieur: G = 2.89 KN/m².**
Mur intérieur: G = 1.46 KN/m².

✚ Les charges d'exploitation Q:

- Plancher : **Plancher terrasse: Q = 1 KN/m².**
Plancher EC: Q = 1.5 KN/m².
- **Balcon: Q = 3.5 KN/m².**

Les cas de charges sismiques selon x et selon y.

III.1.2 Considérations générales liées aux charges horizontales :

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

- **Centre de masse CM_i:**

Donnée par la formule:

Avec:

$$\left[\begin{array}{l} X_{cm} = \frac{\sum m_i \cdot X_{Gi}}{\sum m_i} \\ Y_{cm} = \frac{\sum m_i \cdot Y_{Gi}}{\sum m_i} \end{array} \right. \quad \text{(III.5)}$$

m_i: La masse sismique de l'étage.

$\left[\begin{array}{l} X_{Gi} \\ Y_{Gi} \end{array} \right.$: Les coordonnées de la position du centre de gravité **CM_i** de l'étage.

• **Centre de RigiditéK**

Donnée par la formule:

$$\left[\begin{array}{l} K_{Xi} = \frac{12 \cdot EI}{h^3} \\ K_{Yi} = \frac{12 \cdot EI}{h^3} \end{array} \right. \quad \text{(III.6)}$$

Avec:

h: La hauteur d'étage.

E: module de Young.

I: Moment d'inertie.

✓ Ou la formule :

$$\left[\begin{array}{l} K_{Xi} = \frac{F}{\Delta_x} \\ K_{Yi} = \frac{F}{\Delta_y} \end{array} \right. \quad \text{(III.7)}$$

Avec:

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

Δ_x : Le déplacement selon le sens x-x.

Δ_y : Le déplacement selon le sens y-y.

• **Centre de torsion CT_i:**

Donnée par la formule:

$$\left[\begin{array}{l} X_{Ct} = \frac{\sum K_{yi} \cdot X_{ti}}{\sum K_{yi}} \\ Y_{Ct} = \frac{\sum K_{xi} \cdot Y_{ti}}{\sum K_{xi}} \end{array} \right. \quad \text{(III.8)}$$

Avec :

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

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

$$\left[\begin{array}{l} X_{ti} \\ Y_{ti} \end{array} \right. : \text{Les coordonnées de la position du centre de torsion } CT_i \text{ de l'étage.}$$

b) Satisfaction des exigences parasismiques du RPA :

Le RPA exige que la charge sismique inférieure calculée à l'aide de la méthode dynamique soit $\geq 80\%$ de celle calculée en utilisant la méthode équivalente statique donnée au moyen de:

$$V = \frac{ADQ}{R} W \quad (\text{III.9})$$

Avec :

- **A : coefficient d'accélération de zone**, donné par le tableau 4.1 suivant la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment.

Groupe	ZONE			
	I	IIa	IIb	III
1 A	0,15	0,25	0,30	0,40
1 B	0,12	0,20	0,25	0,30
2	0,10	0,15	0,20	0,25
3	0,07	0,10	0,14	0,18

Tableau III.1: coefficient d'accélération de zone A.

- **Q:** facteur de qualité

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: $Q=1+\sum_1^5 P_q$. (III.10)

- **D**: facteur d'amplification dynamique moyen, fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (η) et de la période fondamentale de la structure (T).

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(T_2/T)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(T_2/3.0)^{2/3} (3.0/T)^{5/3} & T \geq 3.0s \end{cases} \quad (\text{III.11})$$

Avec :

T: la période fondamentale de la structure donnée par la formule

$$T = C_T h_N^{3/4} \quad (\text{III.12})$$

Ou:

$$T = 0.09 h_N / \sqrt{L} \quad (\text{III.13})$$

Avec:

h_N: hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

C_T: coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage.

W: poids total de la structure.

W est égal à la somme des poids W_i , calculés à chaque niveau (i):

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \text{ avec: } W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi} \quad (\text{III.14})$$

W_{Gi}: poids dû aux charges permanentes.

W_{Qi}: charges d'exploitation.

β: coefficient de pondération, pour les bâtiments $\beta=0.2$

R: coefficient de comportement global de la structure.

Pour Notre cas :

Contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en : $C_T = 0.050$.

Hauteur totale du bâtiment: $h_N = 18.36$ m.

$L_x = 21.45$ m

$L_y = 19.69$ m

$T_x = \min [C_T h_N^{3/4}, 0.09 h_N \sqrt{L_x}] = 0.356$ s

$T_y = \min [C_T h_N^{3/4}, 0.09 h_N \sqrt{L_y}] = 0.372$ s

(Zone IIa ,groupe2) $\rightarrow A = 0.15$

$P_q = 0.25 \rightarrow Q = 1.25$

$R = 4$ (Portiques contreventés par des voiles)

$D_x = 2.5\eta \quad 0 \leq T_x = 0.356 \text{ s} \leq T_2 = 0.5 \text{ s} \rightarrow D_x = 2.2$

$D_y = 2.5\eta \quad 0 \leq T_y = 0.372 \text{ s} \leq T_2 = 0.5 \text{ s} \rightarrow D_y = 2.2$

III.2 Présentation des résultats:

III.2.1 Résultats d'analyse linéaire:

III.2.1.1 La structure sans voiles de contreventement:

a. La période fondamentale:

Mode	Période [sec]
1	1.05
2	0.95
3	0.90

Tableau III.2 : La période fondamentale de la structure Sans voiles de contreventement (Analyse linéaire).

b. La masse modale:

Mode	Masse Modale [%]		
	Ux	Uy	Uz
1	0%	82%	0%
2	75%	0%	0%
3	0%	4%	32%

Tableau III.3 : La masse modale de la structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire).

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

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	Δ_{rx}	Δ_{ry}	Δ_{Tx}	Δ_{Ty}
RDC	0.17	0.17	0.17	0.17
1	0.24	0.26	0.41	0.43
2	0.23	0.25	0.64	0.68
3	0.17	0.19	0.81	0.87
4	0.12	0.13	0.93	1.00
5	0.06	0.07	0.99	1.07

Tableau III.4 : Le déplacement des étages, structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire).

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

Etage	F_x sur les voiles [KN]	F_x sur les poteaux [KN]	F_y sur les voiles [KN]	F_y sur les poteaux [KN]
RDC	0	-167.364	0	-156.902
1	0	-156.34	0	-146.613
2	0	-135.684	0	-127.493
3	0	-107.457	0	-101.631
4	0	-71.214	0	-68.236
5	0	-25.261	0	-24.931

Tableau III.5: La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire).

e. La force sismique à la base:

$$V_x = 1673.635 \text{ KN}$$

$$V_y = 1569.024 \text{ KN}$$

f. Vérification vis-à-vis P- Δ :

✓ Article 5.9 RPA2003.

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

Etag e	Poids par étage [KN]	P _k [KN]	h _k [m]	Sens- X			Sens-Y			θ ≤ 0.10
				Δrk [cm]	V _k [KN]	θ _x	Δrk [cm]	V _k [KN]	θ _y	
RDC	22792.87	74135.11	3.06	0.17	1532.96	0.026	0.17	1425.631	0.028	OK
1	18612.19	51342.24	3.06	0.24	1458.99	0.027	0.26	1342.8467	0.032	OK
2	14437.46	32730.05	3.06	0.23	1265.44	0.019	0.25	1166.8101	0.022	OK
3	10266.05	18292.59	3.06	0.17	1004.04	0.010	0.19	929.43	0.012	OK
4	6097.084	8026.53	3.06	0.12	665.34	0.004	0.13	622.953	0.005	OK
5	1929.45	1929.45	3.06	0.06	243.12	0.001	0.07	227.6418	0.001	OK

Tableau III.6: Vérification vis-à-vis P- Δ , structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire).

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

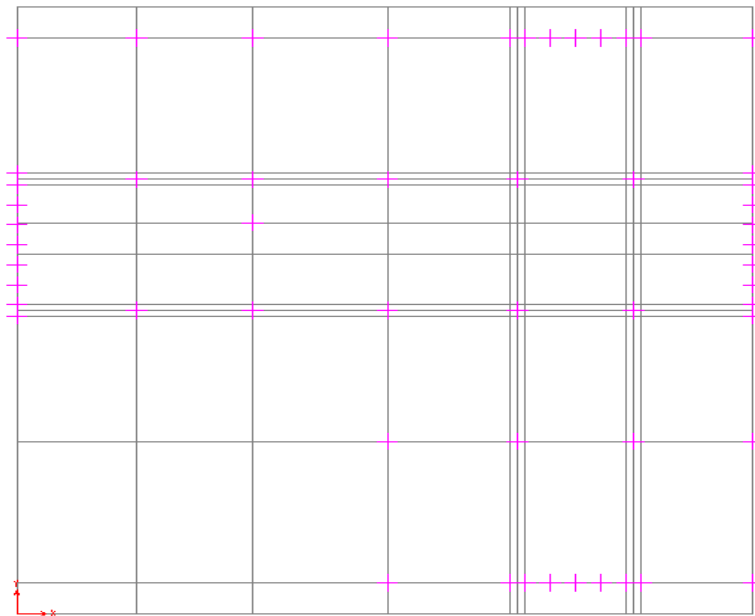
Nœuds	Lesbarres	V _x [KN]	V _y [KN]
50	Poteaux 114	64.215	3.711
	Poutre P 63	-35.762	0
	Poutre P 62	86.296	0
	Poutre S 100	20.339	0
	Poutre S 99	105.778	0
167	Poteaux 144	53.895	-5.556
	Poutre P 24	-38.988	0
	Poutre P 25	45.228	0
	Poutre S 37	109.029	0
	Poutre S 38	-3.41	0
675	Poteaux 467	7.018	26.344
	Poutre P 414	27.228	0

Poutre S 419	-4.477	0
Poutre S 418	17.303	0

Tableau III.7: Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres, structure sans voiles de contreventement (Analyse linéaire).

III.2.1.2 Etude des variantes :

III.2.2 Variante 1 :



Variante 1 : La structure à poteaux collés aux voiles de contreventement.

a. La période fondamentale :

Mode	Période[sec]
1	0.57
2	0.49
3	0.34

Tableau III.8: La période fondamentale V1 (Analyse linéaire).

b. La masse modale :

Mode	MasseModale[%]		
	UX	UY	UZ
1	72%	0%	0%
2	0%	69%	0%
3	72%	70%	0%

Tableau III.9: La masse modale V1.

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

Etage	Déplacementrelatif[cm]		Déplacementtotal[cm]	
	Δ_{rx}	Δ_{ry}	Δ_{Tx}	Δ_{Ty}
RDC	0.04	0.03	0.04	0.03
1	0.08	0.06	0.12	0.09
2	0.1	0.07	0.22	0.16
3	0.1	0.09	0.32	0.25
4	0.1	0.09	0.42	0.34
5	0.09	0.08	0.51	0.42

Tableau III.10: Le déplacement des étages V1 (Analyse linéaire).

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

Etage	F_x surlesvoiles[KN]	F_x surlespoteaux[KN]	F_y surlesVoiles[KN]	F_y surlesPoteaux[KN]
RDC	-188.80	-28.56	-216.00	-17.71
1	-162.39	-44.17	-197.65	-24.81
2	-129.95	-54.57	-166.20	-35
3	-94.76	-56.74	-128.56	-33.27

4	-56.69	-48.49	-83.94	-31.31
5	-24.78	-58.14	-16.79	-41.07

Tableau III.11: La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V1 (Analyse linéaire).

e. La force sismique à la base :

$$V_x = 2155.747 \text{KN}$$

$$V_y = 2329.071 \text{KN}$$

f. Vérification vis-à-vis P-Δ:

✓ Article 5.9 RPA 2003:

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

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

Etag e	Poids par étage	P _k [KN]	h _k [m]	Sens -X			Sens-Y			θ ≤ 0.10
				Δ _{rk} [cm]	V _k [K N]	θ _x	Δ _{rk} [cm]	V _k [KN]	θ _y	
RDC	4883.98	15658.42	3,06	0,04	2120.17	-0.059	0,03	1410.22	-0.100	OK
1	3966.22	10774.43	3,06	0,08	2027.45	-0.055	0,06	1384.22	-0.096	OK
2	3055.34	6808.21	3,06	0,1	1791.96	-0.033	0,07	1278.42	-0.056	OK
3	2150.74	3752.86	3,06	0,1	1506.73	-0.015	0,09	1090.58	-0.026	OK
4	1249.60	1602.11	3,06	0,1	1013.81	-0.006	0,09	803.39	-0.009	OK
5	352.51	352.51	3,06	0,09	359.71	-0.001	0,08	431.57	-0.001	OK

Tableau III.12: Vérification vis-à-vis P-Δ V1 (Analyse linéaire).

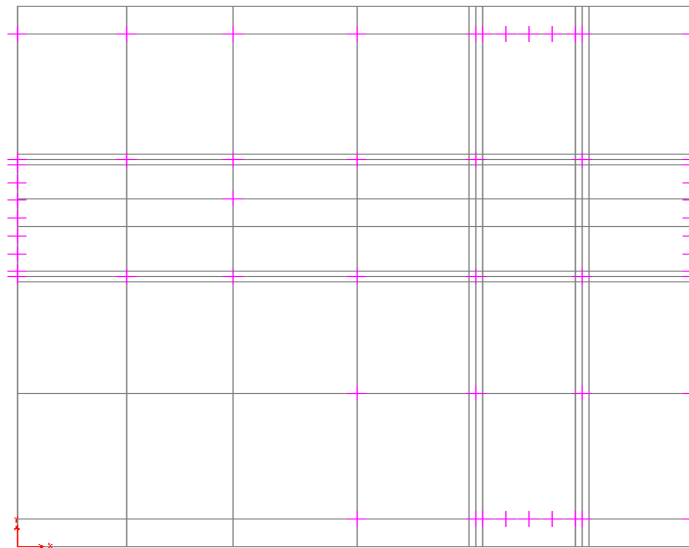
g. Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres :

Nœuds	Lesbarres	V _x [KN]	V _y [KN]
50	Poteaux 114	13.947	2.956
	Poutre P 63	-36.92	0
	Poutre P 62	88.895	0
	Poutre S 100	-18.129	0
	Poutre S 99	81.547	0
167	Poteaux 144	18.475	-12.791
	Poutre P 24	-41.131	0

675	Poutre P 25	45.966	0
	Poutre S 37	78.843	0
	Poutre S 38	-24.423	0
	Poteaux467	25.867	25.792
	Poutre P414	27.396	0
	PoutreS 419	3.807	0
	Poutre S418	26.081	0

Tableau III.13: Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V1 (Analyse linéaire).

III.2.1.2.2 Variante 2 :



Variante 2: La structure à poteaux séparés aux voiles de contreventement.

a. La période fondamentale:

Mode	Période[sec]
1	0.59
2	0.49
3	0.35

Tableau III.14: La période fondamentale V1 (Analyse linéaire).

b. La masse modale:

Mode	MasseModale [%]		
	U _x	U _y	U _z
1	73%	0%	0%
2	0%	70%	0%
3	74%	71%	0%

Tableau III.15: La masse modale V1.

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

Etage	Déplacementrelatif[cm]		Déplacementtotal[cm]	
	Δ_{rx}	Δ_{ry}	Δ_{Tx}	Δ_{Ty}
RDC	0.44	0.28	0.44	0.28
1	0.81	0.53	1.26	0.82
2	0.98	0.68	2.24	1.51
3	1.00	0.74	3.25	2.25
4	0.94	0.74	4.19	2.99
5	0.81	0.68	5.01	3.68

Tableau III.16: Le déplacement des étages V1 (Analyse linéaire).

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

Etage	F_x surlesvoiles[KN]	F_x sur les poteaux[KN]	F_y surles Voiles[KN]	F_y surles Poteaux[KN]
RDC	-1577.2	-457.07	-1720.31	-250.27
1	-1306.88	-636.15	-1554.80	-328.02
2	-1010.76	-722.18	-1289.99	-390.52
3	-706.4	-708.82	-981.30	-401.62

4	-379.10	-609.55	-612.87	-359.06
5	-301.18	-623.27	-135.65	-411.01

Tableau III.17: La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V1 (Analyse linéaire).

e. La force sismique à la base :

$$V_x = 20338.714 \text{KN}$$

$$V_y = 19703.477 \text{KN}$$

f. Vérification vis-à-vis P-Δ:

✓ Article 5.9 RPA 2003:

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

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

Etage	Poids par étage [KN]	P _k [KN]	h _k [m]	Sens-X			Sens-Y			θ ≤ 0.10
				Δ _{rk} [cm]	V _k [KN]	θ _x	Δ _{rk} [cm]	V _k [KN]	θ _y	
RDC	23439.89	76362.27	3.06	0.44	19886.62	0.005	0.28	12151.82	0.005	OK
1	19143.88	52922.38	3.06	0.81	18984.46	0.007	0.53	11843.03	0.007	OK
2	14858.27	33778.49	3.06	0.98	16791.95	0.006	0.68	10956.09	0.006	OK
3	10579.55	18920.21	3.06	1.00	13620.72	0.004	0.74	9316.96	0.004	OK
4	6305.51	8340.66	3.06	0.94	9271.02	0.002	0.74	6797.45	0.002	OK
5	2035.15	2035.15	3.06	0.81	3177.04	0.001	0.68	3560.64	0.001	OK

Tableau III.18: Vérification vis-à-vis P-Δ V1 (Analyse linéaire).

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

Nœuds	Les barres	V _x [KN]	V _y [KN]
50	Poteaux 114	153.029	11.652
	Poutre P 63	-35.502	0
	Poutre P 62	84.44	0
	Poutre S 100	127.663	0
	Poutre S 99	199.372	0
167	Poteaux 144	212.058	-9.074
	Poutre P 24	-39.161	0

675	Poutre P 25	46.05	0
	Poutre S 37	293.246	0
	Poutre S 38	128.204	0
	Poteaux 467	264.21	25.411
	Poutre P 414	27.683	0
	Poutre S 419	130.766	0
	Poutre S 418	150.03	0

Tableau III.19: Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V1 (Analyse linéaire).

III.2.2 Résultats d'analyse non linéaire en tenant compte de l'effet P-Delta:

III.2.2.1 La structure sans voiles de contreventement :

a. La période fondamentale:

Mode	Période [sec]
1	1.05
2	0.95
3	0.90

Tableau III.20: La période fondamentale de la structure

Sans voiles de contreventement (Analyse non linéaire).

b. La masse modale :

Mode	Masse Modale [%]		
	U_x	U_y	U_z
1	0%	82%	0%
2	75%	0%	0%
3	0%	4%	32%

Tableau III.21: La masse modale de la structure sans voiles de contreventement (Analyse non linéaire).

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

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	Δ_{rx}	Δ_{ry}	Δ_{Tx}	Δ_{Ty}
RDC	-2.47	-2.76	-2.47	-2.76
1	-3.21	-3.8	-5.68	-6.56
2	-2.67	-3.24	-8.35	-9.80
3	-1.95	-2.4	-10.30	-12.20
4	-1.21	-1.5	-11.51	-13.70
5	-0.55	-0.73	-12.06	-14.43

Tableau III.22: Le déplacement des étages, structure sans voiles de contreventement (Analyse non linéaire).

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

Etage	F_x sur les voiles [KN]	F_x sur les poteaux [KN]	F_y sur les voiles [KN]	F_y sur les poteaux [KN]
RDC	0	-2581.44	0	-2581.44
1	0	-2106.29	0	-2106.29
2	0	-1631.135	0	-1631.135
3	0	-1155.97	0	-1155.97
4	0	-680.82	0	-680.824
5	0	-205.66	0	-205.66

Tableau III.23: La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, structure sans voiles de contreventement (Analyse non linéaire).

e. La force sismique à la base :

$$V_x = 25964.237 \text{ KN}$$

$$V_y = 25964.237 \text{ KN}$$

f. Vérification vis-à-vis P- Δ :

✓ Article 5.9 RPA2003:

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

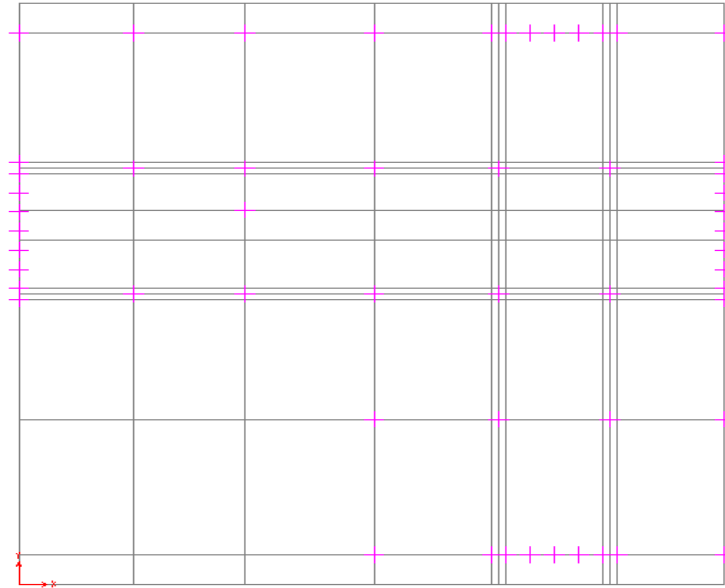
Etag e	Poids par étage [KN]	P _k [KN]	h _k [m]	Sens -X			Sens-Y			θ ≤ 0.10
				Δ _{rk} [cm]	V _k [KN]	θ _x	Δ _{rk} [cm]	V _k [KN]	θ _y	
RDC	22792.90	74602.34	3.06	-2.47	23774.13	-0.025	-2.76	23431.85	-0.028	OK
1	18612.21	51809.43	3.06	-3.21	19802.10	-0.027	-3.8	19290.39	-0.033	OK
2	14437.47	33197.22	3.06	-2.67	15280.02	-0.018	-3.24	14927.45	-0.023	OK
3	10266.06	18759.74	3.06	-1.95	10837.52	-0.011	-2.4	10571.89	-0.013	OK
4	6564.22	8493.68	3.06	-1.21	6381.52	-0.005	-1.5	6212.98	-0.006	OK
5	1929.45	1929.45	3.06	-0.55	2011.67	-0.001	-0.73	1868.74	-0.002	OK

Tableau III.24: Vérification vis-à-vis P-Δ, structure sans voiles de contreventement (Analyse non linéaire).

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

Nœuds	Lesbarres	V _x [KN]	V _y [KN]
50	Poteaux 114	2.103	2.139
	Poutre P 63	-40.116	0
	Poutre P 62	86.307	0
	Poutre S 100	-71.986	0
	Poutre S 99	82.041	0
167	Poteaux 144	-5.164	23.171
	Poutre P 24	-48.446	0
	Poutre P 25	45.193	0
	Poutre S 37	77.051	0
	Poutre S 38	-88.887	0
675	Poteaux 467	-7.419	26.342
	Poutre P 414	27.224	0
	Poutre S 419	-23.304	0
	Poutre S 418	15.68	0

Tableau III.25: Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres, structure sans voiles de contreventement (Analyse non linéaire).

III.2.2.2 Etude des variantes:**III.2.2.2.1 Variante 1:**

Variante 1: La structure à poteaux collés aux voiles de contreventement.

a. La période fondamentale:

Mode	Période[sec]
1	0.57
2	0.49
3	0.34

Tableau III.26: La période fondamentale V1 (Analyse non linéaire).

b. La masse modale:

Mode	MasseModale[%]		
	UX	UY	UZ
1	72%	0%	0%
2	0%	69%	0%
3	72%	70%	0%

Tableau III.27: La masse modale V1.

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

Etage	Déplacementrelatif[cm]		Déplacementtotal[cm]	
	Δ_{rx}	Δ_{ry}	Δ_{Tx}	Δ_{Ty}
RDC	-0.44	-0.30	-0.44	-0.30
1	-0.8	-0.55	-1.24	-0.85
2	-0.86	-0.66	-2.1	-1.51
3	-1.02	-0.7	-3.12	-2.21
4	-0.87	-0.69	-3.99	-2.90
5	-0.78	-0.64	-4.77	-3.54

Tableau III.28: Le déplacement des étages V1 (Analyse non linéaire).

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

Etage	F_x sur les voiles [KN]	F_x sur les poteaux [KN]	F_y sur les Voiles [KN]	F_y sur les Poteaux [KN]
RDC	-2374.21	-339.06	-2502.31	-226.54
1	-1762.05	-434.73	-1975.75	-221.03
2	-1208.50	-502.00	-1435.65	-290.76
3	-726.93	-490.46	-934.48	-268.52
4	-300.72	-400.95	-469.40	-240.99
5	255.67	-480.03	93.18	-317.55

Tableau III.29: La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V1 (Analyse non linéaire).

e. La force sismique à la base :

$$V_x = 25341.126 \text{ KN}$$

$$V_y = 27041.126 \text{ KN}$$

f. Vérification vis-à-vis P-Δ:

✓ Article 5.9 RPA 2003:

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

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

Etage	Poids par étage [KN]	P _k [KN]	h _k [m]	Sen s-X			Sens -Y			θ ≤ 0.10
				Δ _{rk} [cm]	V _k [KN]	θ _x	Δ _{rk} [cm]	V _k [KN]	θ _y	
RDC	23505.78	76589.46	3.06	-0.44	26456.46	-0.004	-0.30	15609.90	-0.004	OK
1	19200.30	53083.68	3.06	-0.8	21636.77	-0.006	-0.55	13055.05	-0.007	OK
2	14903.35	33883.38	3.06	-0.86	16628.51	-0.005	-0.66	10582.08	-0.006	OK
3	10612.45	18980.02	3.06	-1.02	11723.10	-0.005	-0.7	7899.60	-0.005	OK
4	6325.57	8367.56	3.06	-0.87	6842.21	-0.003	-0.69	5067.14	-0.003	OK
5	2041.98	2041.98	3.06	-0.78	1864.11	-0.002	-0.64	2662.40	-0.001	OK

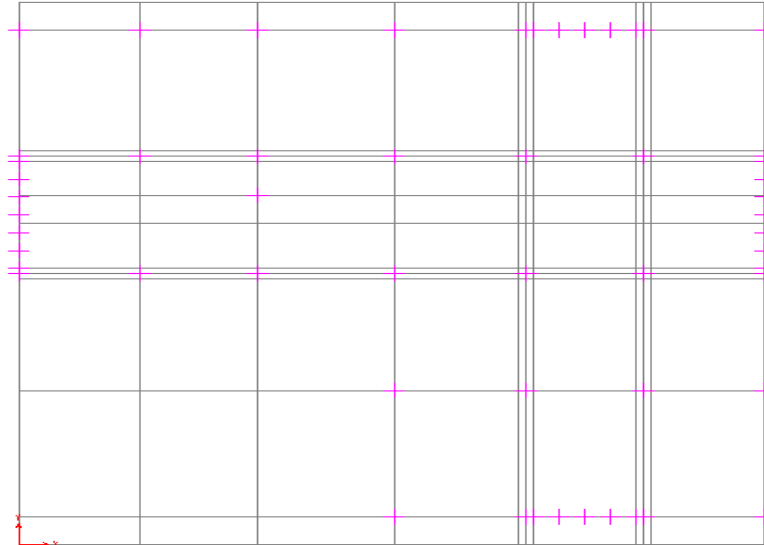
Tableau III.30: Vérification vis-à-vis P-Δ V1 (Analyse non linéaire).

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

Nœuds	Lesbarres	V _x [KN]	V _y [KN]
50	Poteaux 114	1.833	11.768
	Poutre P 63	-37.176	0
	Poutre P 62	88.897	0
	Poutre S 100	-72.57	0
	Poutre S 99	81.55	0
167	Poteaux 144	-6.334	-10.924
	Poutre P 24	-39.931	0
	Poutre P 25	45.96	0
	Poutre S 37	75.746	0
	Poutre S 38	-89.857	0
675	Poteaux 467	-10.879	25.792
	Poutre P 414	27.394	0
	Poutre S 419	-24.753	0
	Poutre S 418	13.968	0

Tableau III.31: Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V1 (Analyse non linéaire).

III.2.2.2.2 Variante 2:



Variante 2: La structure à poteaux séparés aux voiles de contreventement.

a. La période fondamentale :

Mode	Période[sec]
1	0.59
2	0.49
3	0.35

Tableau III.32: La période fondamentale V1 (Analyse non linéaire).

b. La masse modale :

Mode	MasseModale[%]		
	U _x	U _y	U _z
1	73%	0%	0%
2	0%	70%	0%
3	74%	71%	0%

Tableau III.33: La masse modale V1.

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

Etage	Déplacement relatif [cm]		Déplacement total [cm]	
	Δ_{rx}	Δ_{ry}	Δ_{Tx}	Δ_{Ty}
RDC	-0.5388	-0.3492	-0.5388	-0.3492
1	-0.8748	-0.5768	-1.4136	-0.926
2	-0.98	-0.682	-2.3936	-1.608
3	-0.9548	-0.7068	-3.3484	-2.3148
4	-0.862	-0.6844	-4.2104	-2.9992
5	-0.7424	-0.632	-4.9528	-3.6312

Tableau III.34: Le déplacement des étages V1 (Analyse non linéaire).

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

Etage	F_x sur les voiles [KN]	F_x sur les poteaux [KN]	F_y sur les Voiles [KN]	F_y sur les Poteaux [KN]
RDC	-2102.62	-583.68	-2354.61	-331.69
1	-1514.64	-678.66	-1840.46	-352.83
2	-993.74	-706.55	-1312.14	-388.15
3	-564.11	-643.18	-836.41	-370.87
4	-188.58	-525.70	-397.03	-317.25
5	320.26	-541.55	147.77	-369.05

Tableau III.35: La répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux V1 (Analyse non linéaire).

e. La force sismique à la base :

$$V_x = 27035.135 \text{ KN}$$

$$V_y = 27035.135 \text{ KN}$$

f. Vérification vis-à-vis P-Δ:

✓ Article 5.9 RPA 2003:

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

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

Etage	Poids par étage [KN]	P _k [KN]	h _k [m]	Sens-X			Sens-Y			θ ≤ 0.10
				Δ _{rk} [cm]	V _k [KN]	θ _x	Δ _{rk} [cm]	V _k [KN]	θ _y	
RDC	23439.83	76362.04	3.06	-0.53	26269.39	-0.005	-0.34	15807.36	-0.005	OK
1	19143.83	52922.21	3.06	-0.87	21513.24	-0.006	-0.57	13104.21	-0.007	OK
2	14858.22	33778.38	3.06	-0.98	16498.31	-0.006	-0.68	10622.16	-0.007	OK
3	10579.51	18920.15	3.06	-0.95	11614.02	-0.005	-0.70	7916.27	-0.005	OK
4	6305.49	8340.63	3.06	-0.86	6751.88	-0.003	-0.68	5072.16	-0.003	OK
5	2035.14	2035.14	3.06	-0.74	1793.10	-0.002	-0.63	2622.13	-0.001	OK

Tableau III.36: Vérification vis-à-vis P-Δ V1 (Analyse non linéaire).

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

Nœuds	Les barres	V _x [KN]	V _y [KN]
50	Poteaux 114	1.984	11.315
	Poutre P 63	-37.03	0
	Poutre P 62	84.443	0
	Poutre S 100	-72.44	0
	Poutre S 99	81.745	0
167	Poteaux 144	-6.241	-10.96
	Poutre P 24	-39.813	0
	Poutre P 25	46.044	0
	Poutre S 37	75.833	0
	Poutre S 38	-89.749	0
675	Poteaux 467	-10.616	25.411
	Poutre P 414	27.681	0
	Poutre S 419	-24.602	0
	Poutre S 418	14.164	0

Tableau III.37: Les efforts tranchants sollicitant les poteaux et les poutres V1 (Analyse non linéaire).

CHAPITRE

IV

Introduction:

Dans ce chapitre, et par souci de commodité ; nous récapitulons les résultats dans des tableaux et des graphes, puis une discussion générale de tous les résultats reçus est menée, pour conclure en fonction de résistance aux efforts sismiques quelle est la disposition la plus efficace entre voiles collés aux poteaux des portiques contreventés et ceux séparés de ces derniers.

IV.1 Récapitulation des résultats:**IV.1.1 Résultats d'analyse linéaire:**

Les variantes			V1	V2	V3
Période [sec]	Mode 01		1.05	0.57	0.59
	Mode 02		0.95	0.49	0.49
	Mode 03		0.90	0.34	0.35
La masse modale [%]	Mode 01	U _x	0	72	73
		U _y	82	0	0
		U _z	0	0	0
	Mode 02	U _x	75	0	0
		U _y	0	69	70
		U _z	0	0	0
	Mode 03	U _x	0%	72%	74%
		U _y	4%	70%	71%
		U _z	32%	0%	0%
N° de modes pour la masse cumulée >90%		U _x	5	19	4
		U _y	5	11	5
Déplacement relatif [cm]	E ₁	Δ _{rx}	0.17	0.04	0.45
		Δ _{ry}	0.17	0.03	0.29
	E ₂	Δ _{rx}	0.24	0.08	0.81
		Δ _{ry}	0.26	0.06	0.54
	E ₃	Δ _{rx}	0.23	0.10	0.98
		Δ _{ry}	0.25	0.07	0.68
	E ₄	Δ _{rx}	0.17	0.10	1.01
		Δ _{ry}	0.19	0.09	0.74

	E₅	Δ_{rx}	0.12	0.10	0.94
		Δ_{ry}	0.13	0.09	0.74
	E₆	Δ_{rx}	0.06	0.09	0.82
		Δ_{ry}	0.07	0.08	0.69
Déplacement total [cm]		U_x	0.99	0.51	5.01
		U_y	1.07	0.42	3.68
Répartition des charges horizontales [KN]	Sens-X	Voiles	0%	87%	78%
		Poteaux	100%	13%	22%
	Sens-y	Voiles	0%	92%	87%
		Poteaux	100%	8%	13%
Force sismique à la base <i>Vt</i> [KN]	Sens-X		1673,64	2155,75	20338,71
	Sens-y		1569,02	2329,07	19703,48
Force sismique (MSE) [KN]	V_{MSE x}		1599.34	2498.51	2448.25
	V_{MSE y}		2625.79	2734.69	2734.09
	80% V_{MSE x}		1279.47	1998.80	1958.6
	80% V_{MSE y}		2100.63	2187.75	2187.27

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

IV.1.1.1 Présentation des résultats en graphs :

a. Période :

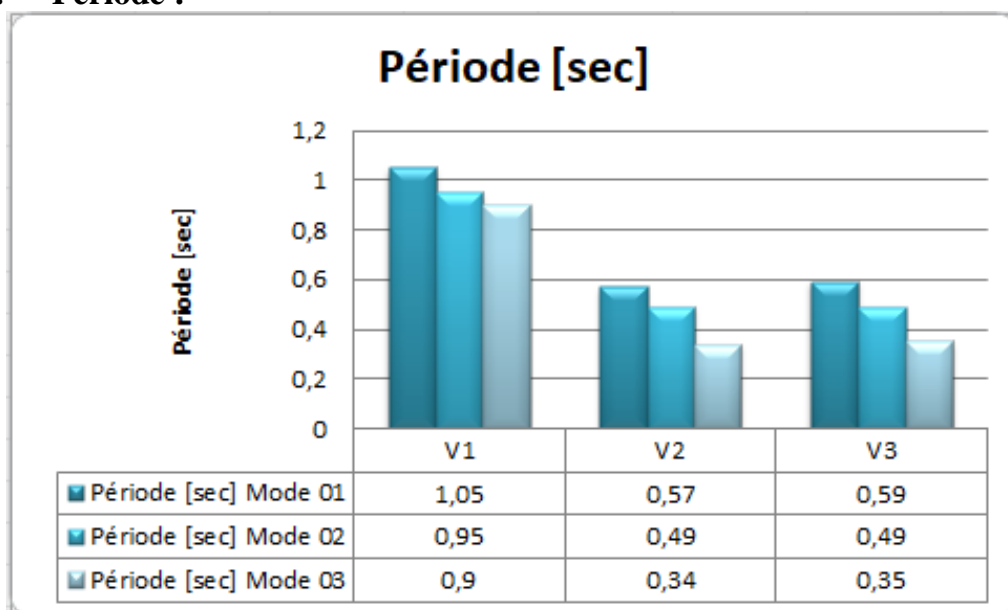


Figure IV.1 : Graphique des résultats de la période.

b. La masse modale :

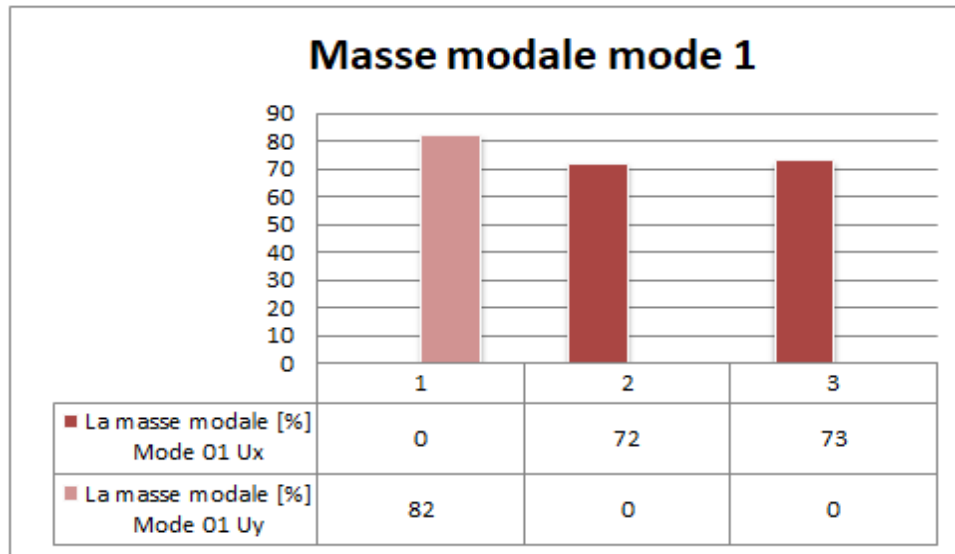


Figure IV.2 : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 1.

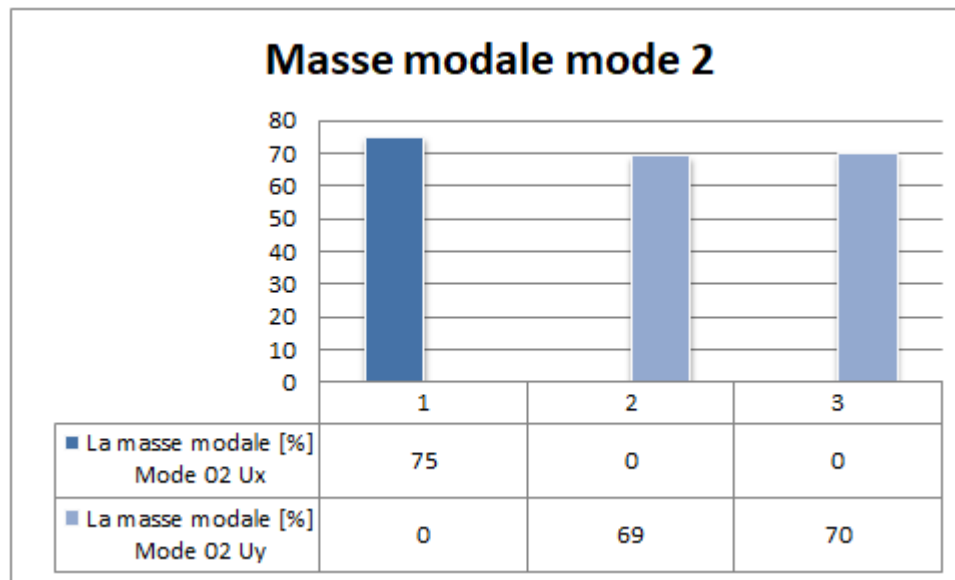


Figure IV.3 : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 2.

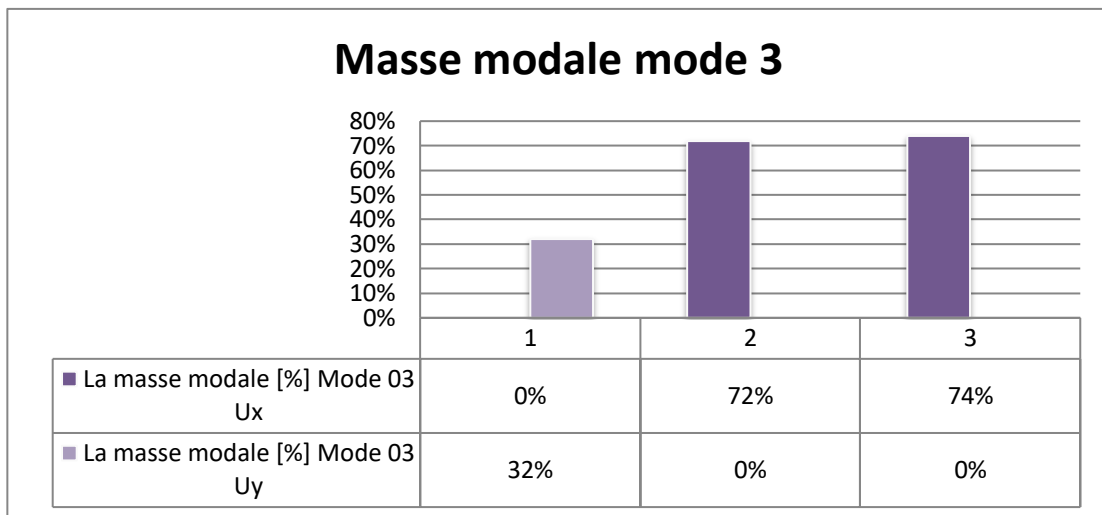


Figure IV.4 : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 3.

c. Déplacement inter-étages max :

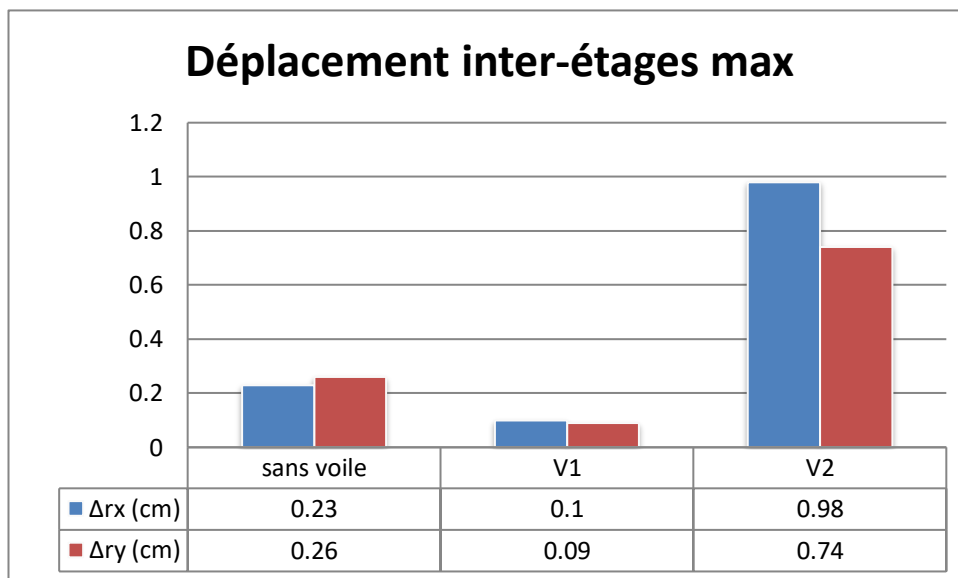


Figure IV.5 : Graphique des résultats de déplacement inter-étages max.

d. Déplacement total :

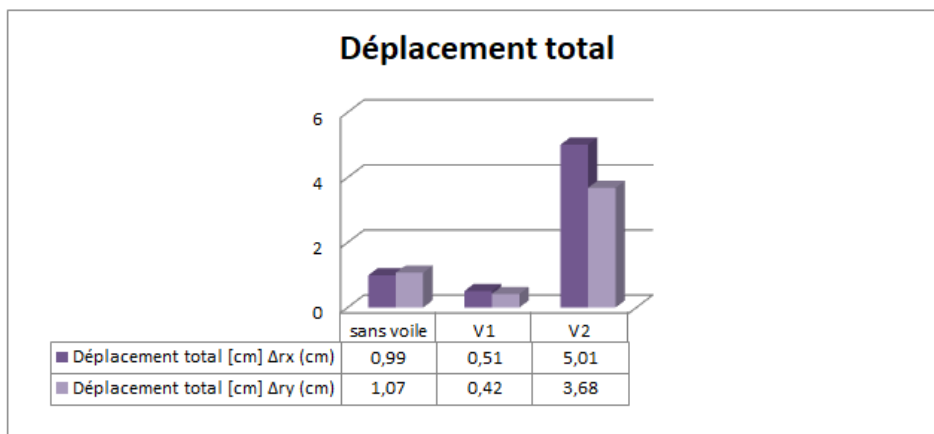


Figure IV.6 : Graphique des résultats de déplacement total.

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

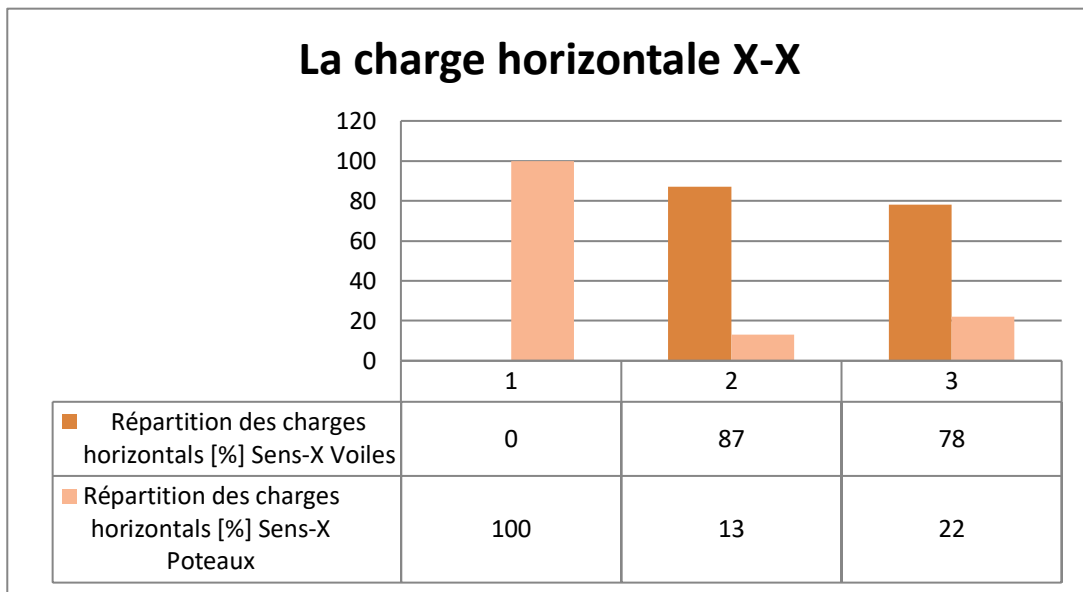


Figure IV.7 : Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens X-X.

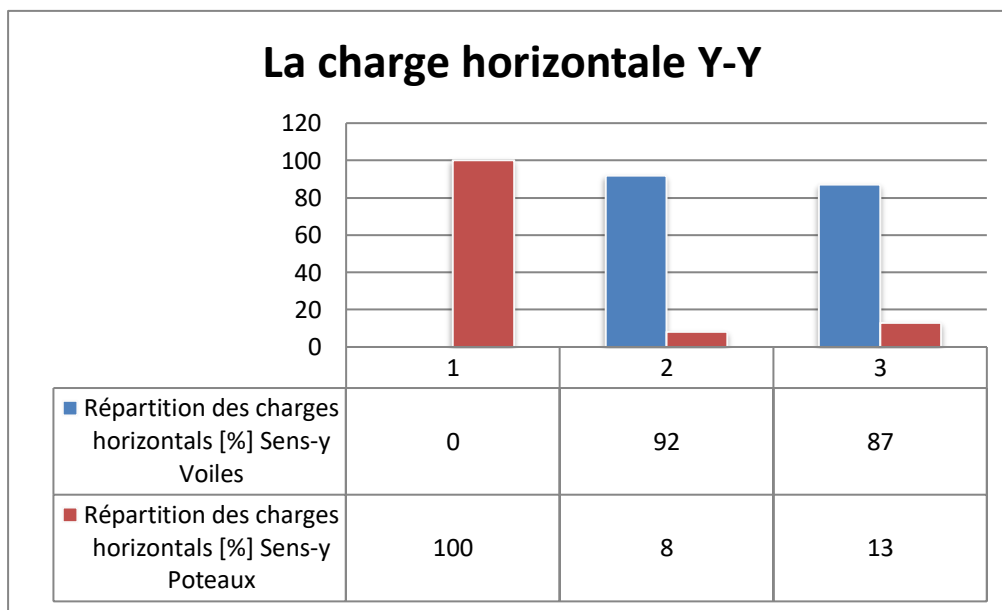


Figure IV.8 : Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens Y-Y.

f. La force sismique à la base :

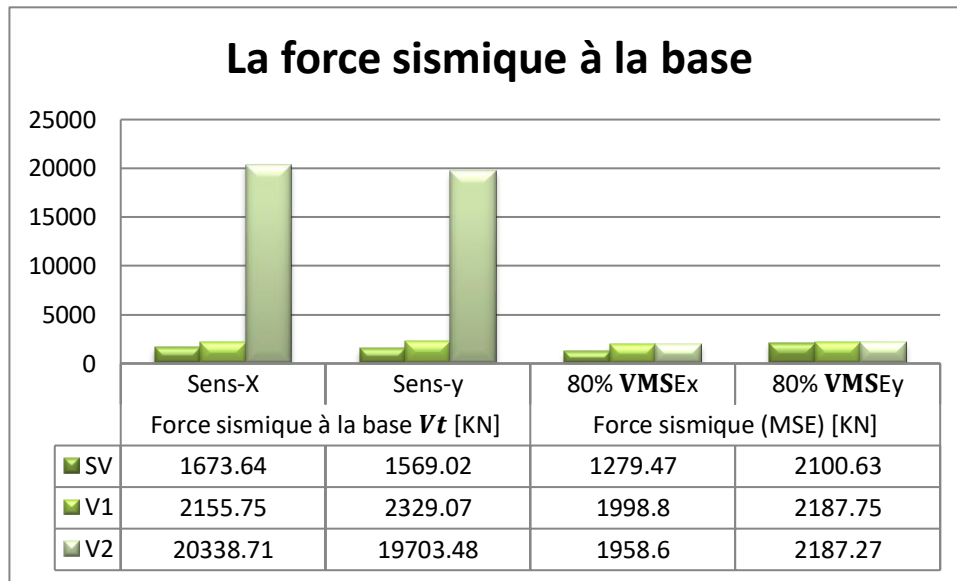


Figure IV.9 : Graphique des résultats de la force sismique à la base.

IV.1.2 Résultats d'analyse non-linéaire(e tenant compte de l'effet P_Delta) :

Les variantes		V1	V2	V3	
Période [sec]	Mode 01	1.05	0.57	0.59	
	Mode 02	0.95	0.49	0.49	
	Mode 03	0.90	0.34	0.35	
La masse modale [%]	Mode 01	Ux	0%	72%	73%
		Uy	82%	0%	0%
		Uz	0%	0%	0%
	Mode 02	Ux	75%	0%	0%
		Uy	0%	69%	70%
		Uz	0%	0%	0%
	Mode 03	Ux	0%	72%	74%
		Uy	4%	70%	71%
		Uz	32%	0%	0%
N° de modes pour la masse cumulée >90%		Ux	5	19	4
		Uy	5	11	5
Déplacement relatif [cm]	E1	Δ_{rx}	-2.47	-0.44	-0.54
		Δ_{ry}	-2.76	-0.30	-0.35
	E2	Δ_{rx}	-3.21	-0.8	-0.87
		Δ_{ry}	-3.8	-0.55	-0.58
	E3	Δ_{rx}	-2.67	-0.86	-0.98
		Δ_{ry}	-3.24	-0.66	-0.68
	E4	Δ_{rx}	-1.95	-1.02	-0.95
		Δ_{ry}	-2.4	-0.7	-0.71
	E5	Δ_{rx}	-1.21	-0.87	-0.86
		Δ_{ry}	-1.5	-0.69	-0.68
	E6	Δ_{rx}	-0.55	-0.78	-0.74
		Δ_{ry}	-0.73	-0.64	-0.63
Déplacement total [cm]		Ux	-12.06	-4.77	-4.95
		Uy	-14.43	-3.54	-3.63

Répartition des charges horizontales [%]	Sens-X	Voiles	0%	88%	78%
		Poteaux	100%	12%	22%
	Sens-y	Voiles	0%	92%	88%
		Poteaux	100%	8%	12%
Force sismique à la base Vt [KN]	Sens-X		25964,23	25341,12	27035,14
	Sens-y		25964,23	27041,12	27035,14
Force sismique (MSE) [KN]	V_{MSEx}		1599.34	2498.51	2448.25
	V_{MSEy}		2625.79	2734.69	2734.09
	80% V_{MSEx}		1279.47	1998.80	1958.6
	80% V_{MSEy}		2100.63	2187.75	2187.27

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

IV.1.2.1 Présentation des résultats en graphs :

a. Période :

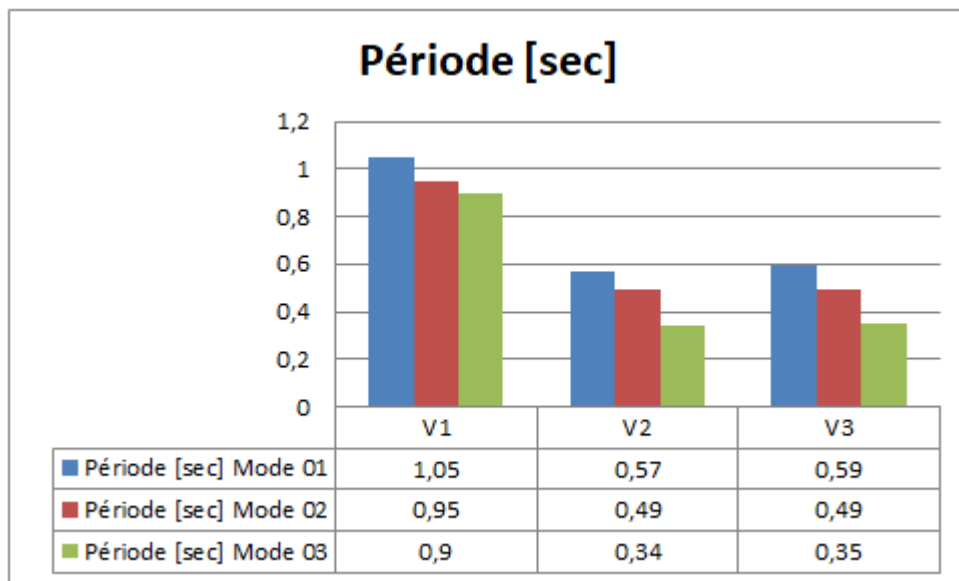


Figure IV.10 : Graphique des résultats de la période.

b. La masse modale :

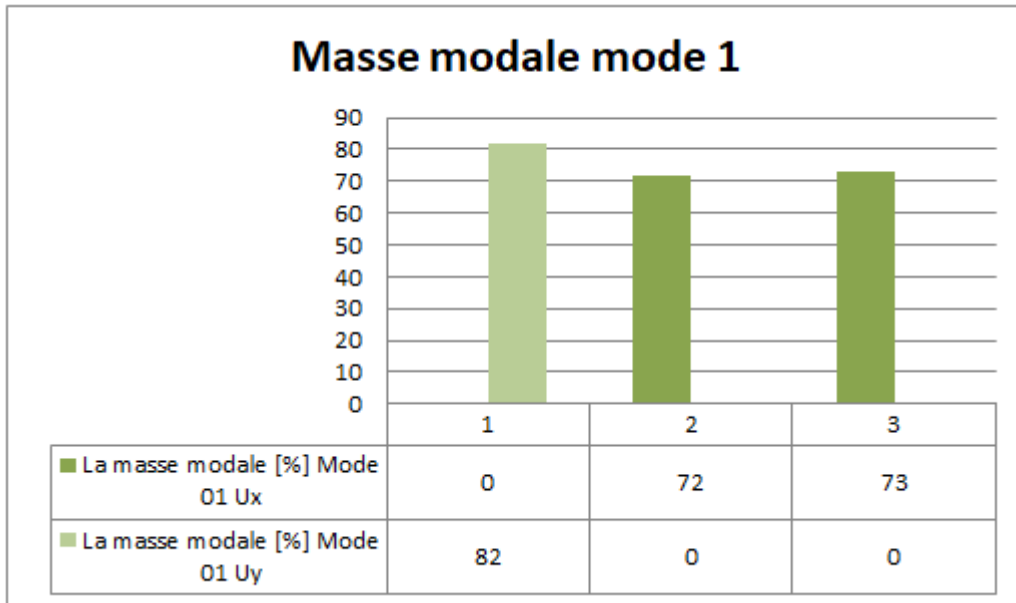


Figure IV.11 : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 1.

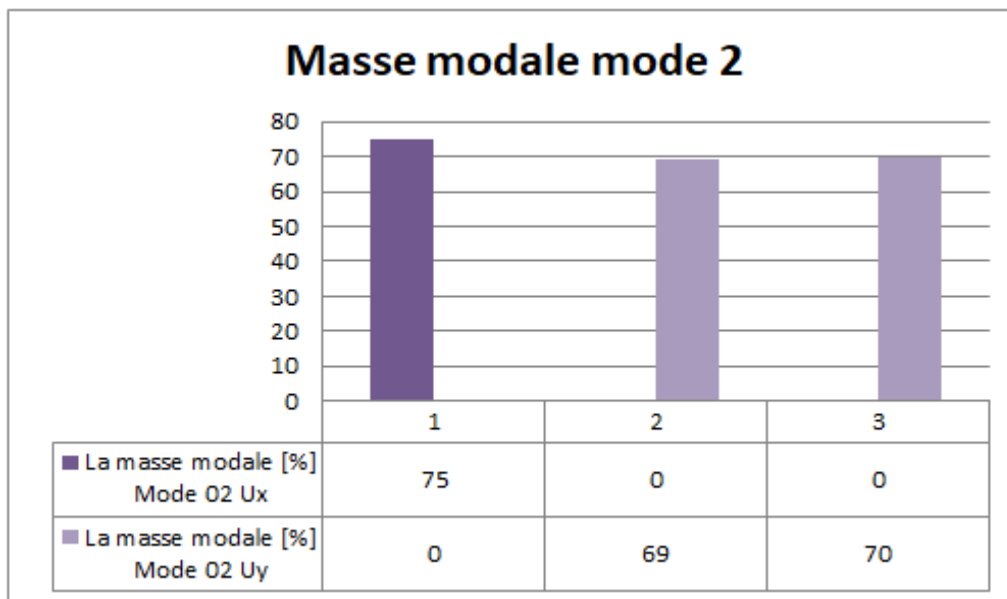


Figure IV.12 : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 2.

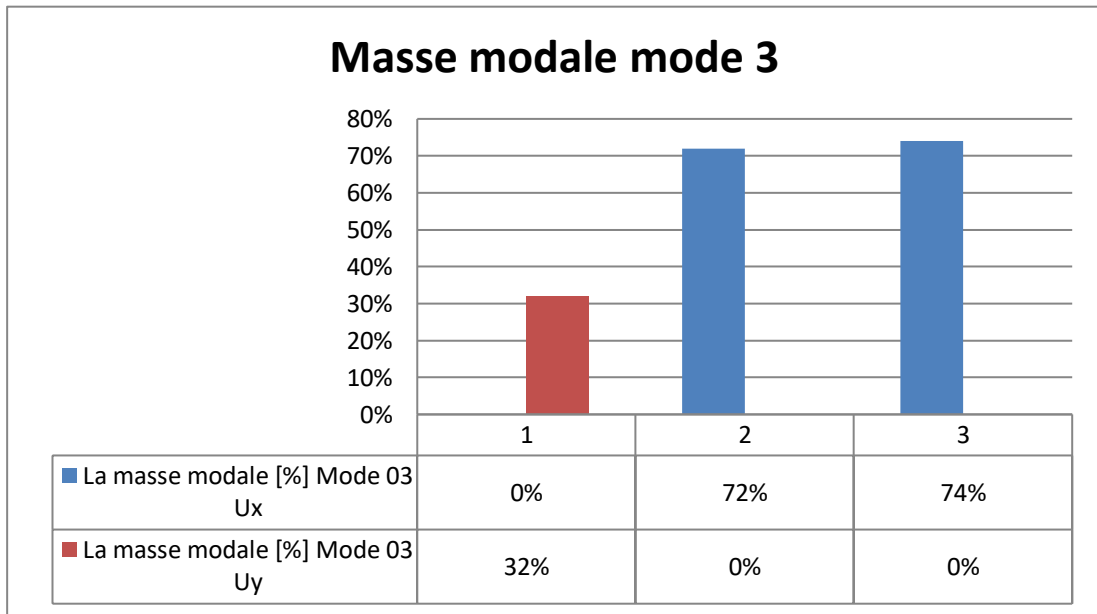


Figure IV.13 : Graphique des résultats de la masse modale, Mode 3.

c. Déplacement inter-étages:

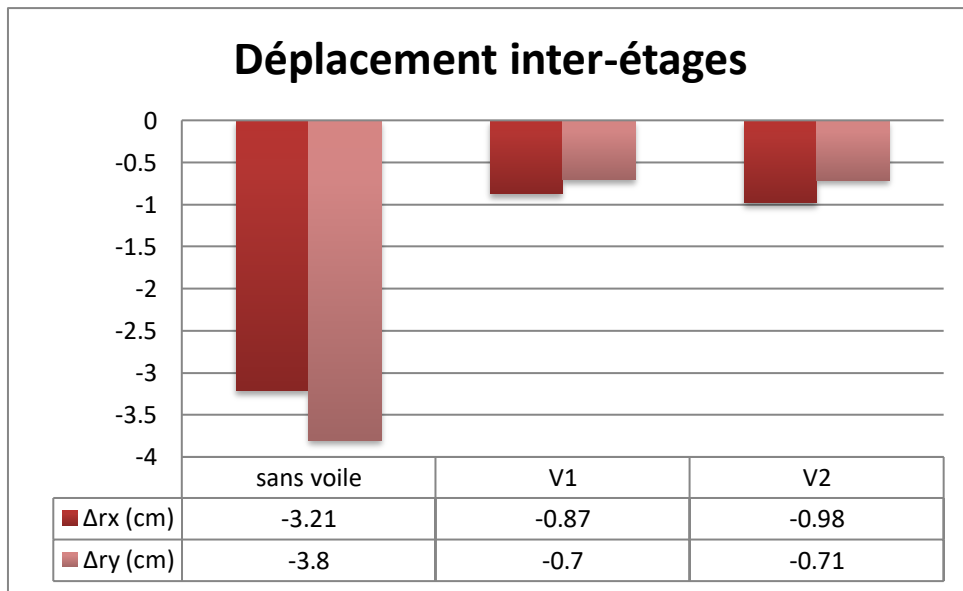


Figure IV.14 : Graphique des résultats de déplacement inter-étages.

d. Déplacement total :

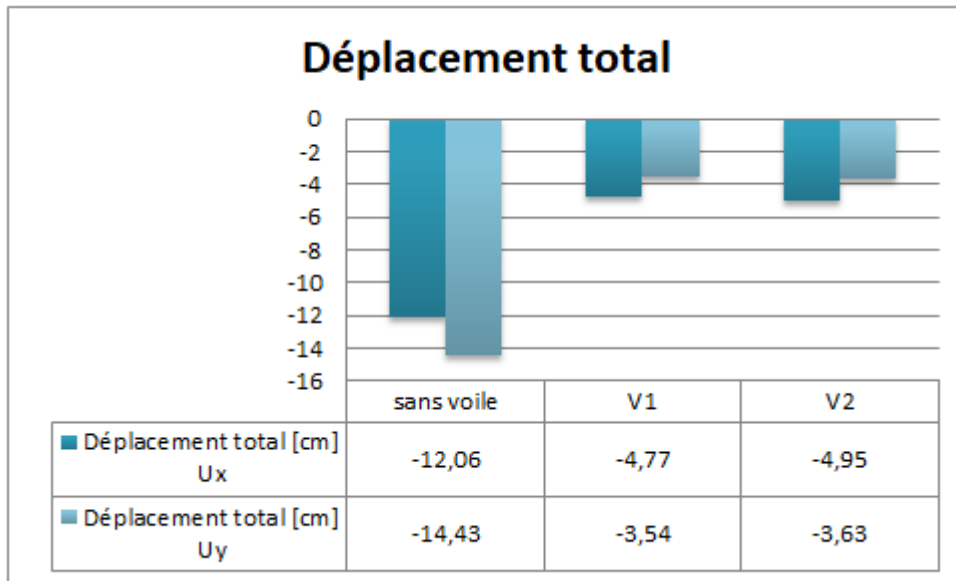


Figure IV.15 : Graphique des résultats de déplacement total.

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

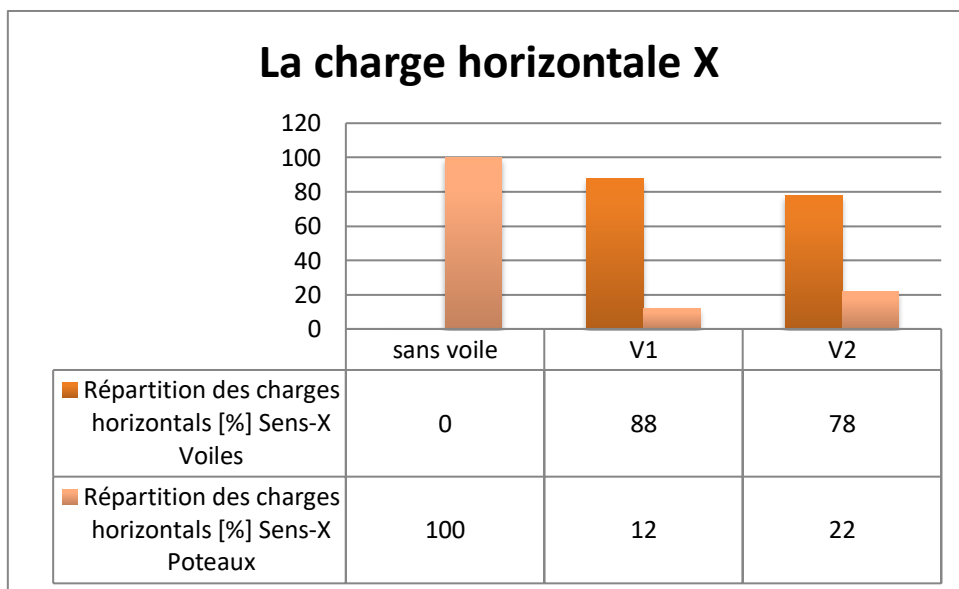


Figure IV.16 : Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens X.

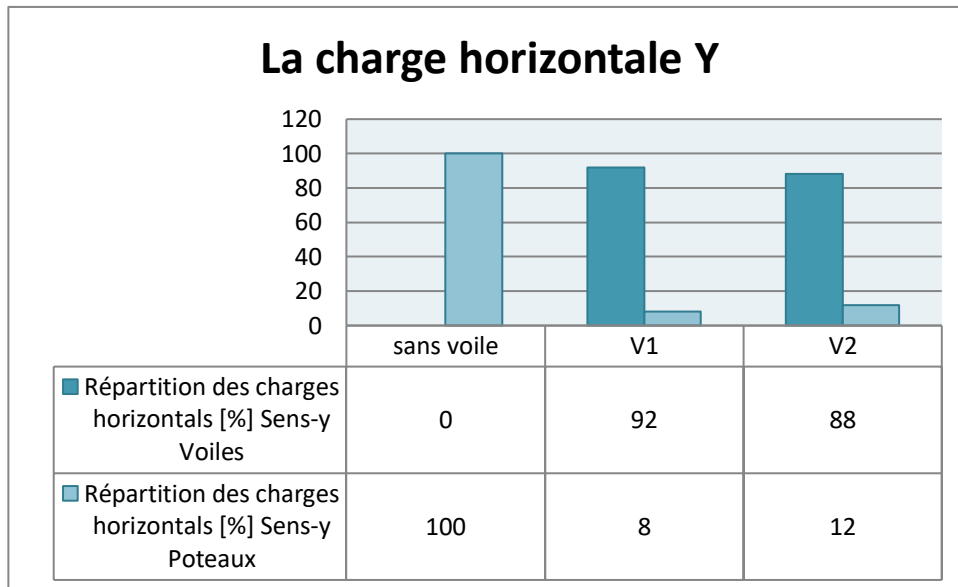


Figure IV.17 : Graphique des résultats de la répartition des charges horizontales entre voiles et poteaux, sens-Y.

f. La force sismique à la base :

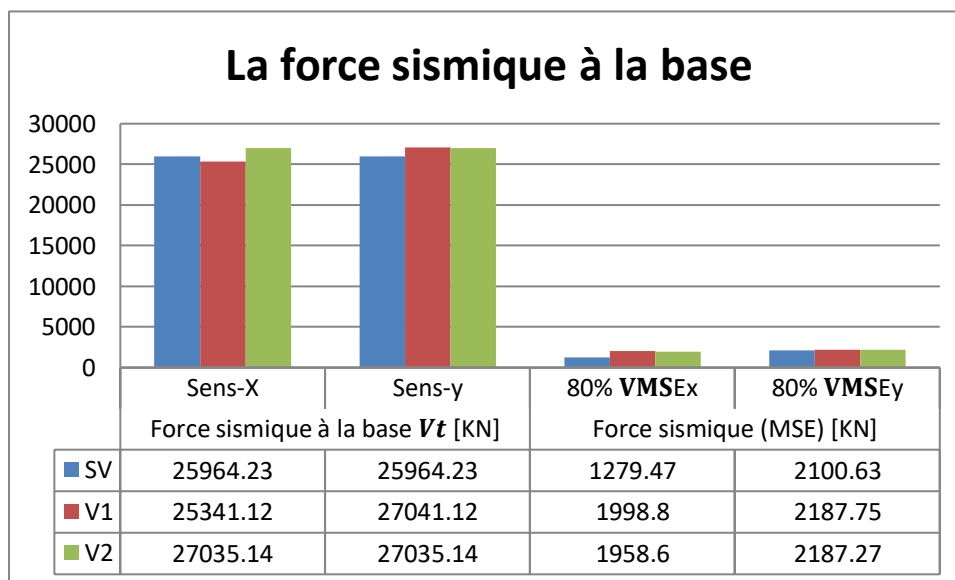


Figure IV.18 : Graphique des résultats de la force sismique à la base.

IV.1.2.2 Discussion :

- IV.1.2.2.1 La Périodes:** Toutes les variantes avec voiles donnent de périodes plus faible que celle sans voiles ce qui implique que les voiles augmentent la rigidité de la structure.
- IV.1.2.2.2 Les masses modales en pourcentage :** Pour la variante sans voiles la masse modale en pourcentage dans les deux sens x et y sont comparables vu la forme de la structure. Pour les variantes avec voiles on voit que le pourcentage de la masse modale est dominant dans le sens x au premier mode (translation selon x), et dans le sens y pour le deuxième mode (translation selon y), et grossièrement comparables pour le 3ème mode (torsion).
- IV.1.2.2.3 La Masses modales cumulées en pourcentage:** Le pourcentage de masse modale cumulée dans les trois premiers modes dépasse 60% dans toutes les variantes, mais pour répondre à l'exigence du RPA (article 4.3.4) selon laquelle la masse modale cumulée dépasse 90% pour une bonne réponse aux vibrations sismiques, le nombre de modes à considérer est plus grand dans la variante de voiles collées aux poteaux
- IV.1.2.2.4 Les déplacements relatifs :** Le critère du mouvement relatif inter-niveaux (article 5.10 RPA 99) a été vérifié pour tous les niveaux et variantes. La présence de voiles de contreventement améliore le comportement de la structure en termes de mouvement inter-planché.
- IV.1.2.2.5 Le déplacement total :** Toutes les variantes avec voiles offrent un mouvement total au plus haut niveau plus faible par rapport au type sans voile, ce qui améliore la sécurité en termes de mouvements admissibles.
- IV.1.2.2.6 Répartition des charges horizontales en pourcentage :** dans toutes les variantes avec voiles, les forces sismiques prises par les poteaux dépassent 12%, ainsi ces variantes sont classées (selon le système de structure) dans la classe 4.a Système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portiques-voiles.
- IV.1.2.2.7 Force sismique à la base :** Les forces sismiques de base obtenues dans toutes les variantes sont > 80 % de la résistance sismique calculée par la méthode des constantes équivalentes, c'est-à-dire la condition RPA vérifiée (article 4.3.6) L'augmentation jusqu'à 25 % de la résistance sismique de base est due dans les variantes avec murs par rapport à la variante sans parois augmente la rigidité de la structure, mais comme la majeure partie de cette force est prélevée sur les parois, elle n'a donc aucun effet sur la fonctionnalité de la structure.

V.2 Influence de la prise en compte dans l'analyse des efforts et déplacements non linéaires dus l'effet P-Delta :

Les résultats montrent que le comportement de la structure global (période, déplacement total, déplacement inter étages, ...) subit une variation très faible en incluant l'effet P-Delta dans l'analyse, ce qui conforte la simplification admise par le RPA (article 5.9) vue que la

condition exigée par cet article pour pouvoir négliger les effets du 2^o ordre (ou effet P-Delta) est satisfaite à tous les niveaux pour toutes les variantes.

Conclusion :

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

D'autre part, la prise en compte de l'effet de P-delta n'a pas affecté de manière significative les résultats, car la condition requise a été atteinte par RPA dans toutes les variables, nous pouvons donc négliger l'effet de P-delta dans toutes les variables.

En conclusion, on peut dire que la variante 2 apparaît clairement comme la disposition idéale des voiles, en raison de son meilleur comportement sismique par rapport aux autres variantes.

Conclusion

Générale

Conclusion général

Conclusion général:

L'expérience des séismes passés a montré que les structures contreventées par des murs ont présenté un bon comportement sismique, car leur grande rigidité permet de limiter les déplacements latéraux et assurent ainsi la résistance aux efforts horizontaux, mais la disposition de ceux-ci, pour arriver à une conception adéquate qui permet d'avoir un meilleur comportement structurel et l'exploitation maximale de la rigidité de la structure est laissée au choix du concepteur sans directives réglementaires autres que la recherche de symétrie de rigidité prescrite par (RPA2003).

Dans cette étude, on a examiné l'effet de coller ou de séparer les voiles de contreventement des poteaux des portiques par deux types d'analyse, l'analyse linéaire (en négligeant les efforts et déplacements dus à l'effet P-delta), et l'analyse non linéaire (En les incluant dans les calculs). Les paramètres utilisés comme critères de comparaison pour déterminer la disposition optimale des voiles sont la période fondamentale, le déplacement inter-étage, le déplacement total, la participation de masse, le pourcentage des forces horizontales prises par les murs et les colonnes et la force sismique à la base.

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

- Les deux dispositions testées ont considérablement amélioré la rigidité et la stabilité de la structure, ce qui conforte l'expérience cumulée sur le comportement des structures contreventées par des voiles.
- L'analyse linéaire était suffisante, car l'inclusion de l'effet P-delta n'a affecté que d'une manière très faible les résultats, ce qui confirme la prescription du règlement RPA qui permet de négliger les effets du 2^{ème} ordre tant que la condition qui lui est prescrite est vérifiée.
- L'analyse comparative a mis en évidence l'excellent comportement sismique des voiles collés aux poteaux, par le petit déplacement total, qu'elle présente au dernier niveau, et la translation pure suivant x qui ne donne pas de torsion en mode 1, ainsi que pour le pourcentage élevé des forces sismiques prises par les murs.

Conclusion général

Enfin, cette étude nous a surtout conduit à observer les limites des prescriptions des Codes sismiques y compris le (RPA99vs2003), qui se limite à la recherche de la symétrie dans la répartition des voiles, car bien que les deux dispositions proposées aient été choisies pour avoir un bon comportement dynamique, dans le respect des règles et recommandations formulées par le code algérien, il a été démontré que la disposition collée est meilleur que celle séparée, ce qui oblige immédiatement les concepteurs à tester, pour chaque projet étudié, plusieurs dispositions pour en tirer le meilleur conception, et dans l'avenir, la multiplication des recherches dans ce domaine pour enrichir La réglementation RPA par d'autres prescriptions aidant les concepteurs de Construction dans le choix de la disposition optimale des voiles.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [01] **Djafar-Henni, I., & Kassoul, A. (2018).** Stress–strain model of confined concrete with Aramid FRP wraps. *Construction and Building Materials*, 186, 1016-1030.
- [02] **Kouahla Chahinez,** Influence De La Position Des Voiles Sur Le Comportement Les Structures En Béton Armé, Mémoire de Master 2014, Université 8 Mai 1945-Guelma.
- [03] **Zacek, M. (1996).** Construire parasismique: risque sismique, conception parasismique des bâtiments, réglementation. Editions Parenthèses.
- [04] **Davidovici, V. (2003).** Séisme de BOUMERDES–21 mai 2003. Rapport préliminaire du Ministère de l’Habitat, Rapport de Mission, Dynamique Concept, 23.
- [05] **Belkacemi, M. (2015).** Influence des modèles de comportement non linéaire et le type de chargement sur le comportement global d’un portique en béton armé (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou).
- [06] **Chapitre 3 : LES CONTREVENTEMENTS Cours : Ossatures Bâtiment (2015/2016)-** MASTER Génie Civil-Option : Structures Civiles et industrielles.
- [07] **Izard, J. L., & Zacek, M. (1989).** Conception architecturale bioclimatique et parasismique (Doctoral dissertation, Ministère de l’équipement et du logement/Bureau de la recherche architecturale (BRA); Ministère de la recherche et de la technologie; Ecole nationale supérieure d’architecture de Marseille-Luminy/Groupe ABC-Laboratoire Architecture Bioclimatique et Constructions exposées aux risques naturels).
- [08] **Règles Parasismiques Algériennes, RPA 99 / Version 2003,** Centre National De Recherche Appliquée En Génie Parasismique. Algérie.
- [09] **Hadjaz, Lila. (2018).** Influence du nombre d’étages sur la performance sismique des structures auto-stables en BA (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou).

Références bibliographiques

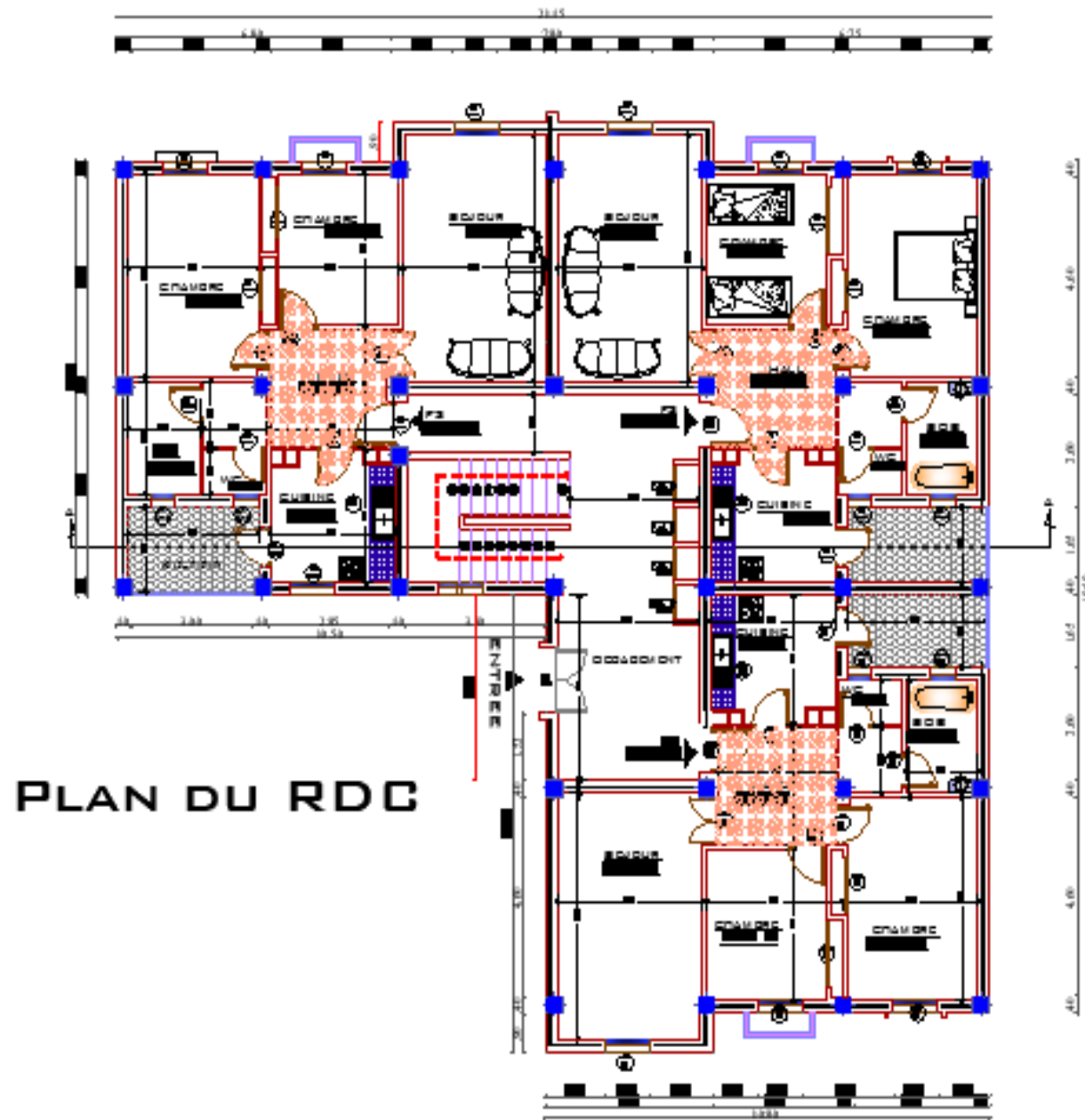
[10] **Abdelghani, SEGHIR.** Séisme de Boumerdes du 21 Mai 2003 : Pathologie de construction et dommages sismiques. Séminaire : Les journées techniques et scientifiques du bâtiment et de la construction-Bejaia 2007.

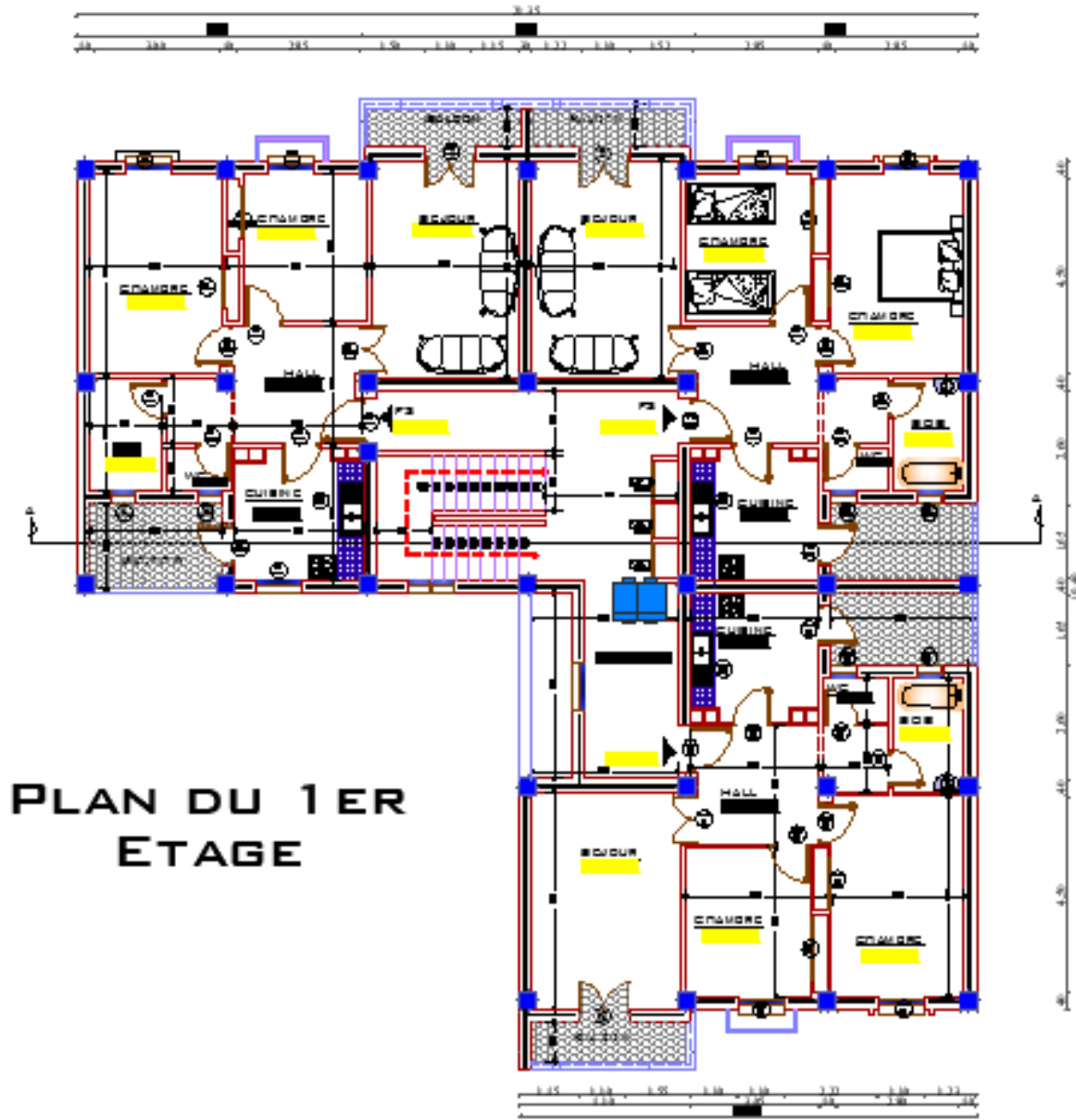
[11] **Daiffallah, N., & Ramdani, F. Z.** (2020). L'influence de la position des voiles de contreventement sur la résistance et la stabilité des structures de bâtiment (Doctoral dissertation, Univ M'sila).

[12] **LE SEISME DE CEYHAN-MISIS du Juin** — Rapport de Mission post-sismique AFPS. Séisme de CEYHAN-MISIS (Turquie 27 Juin 1998). -. Page 9. Janvier 1999. Bulletin n° 34. EDITORIAL.

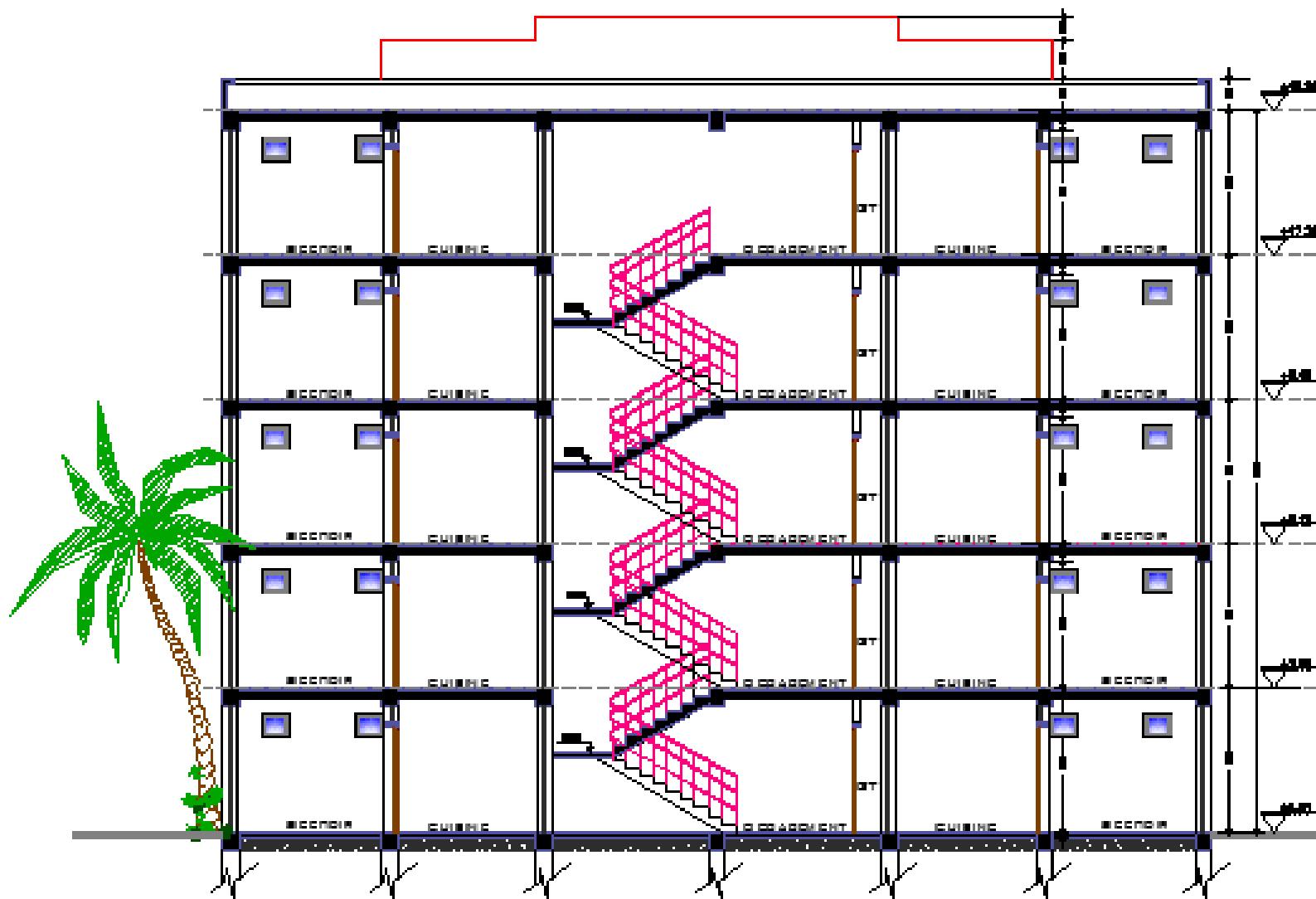
[13] **Omar, M. I. M. I.** (2013). Influence de la disposition des voiles sur la performance sismique des bâtiments (Master's thesis).

231999/03/

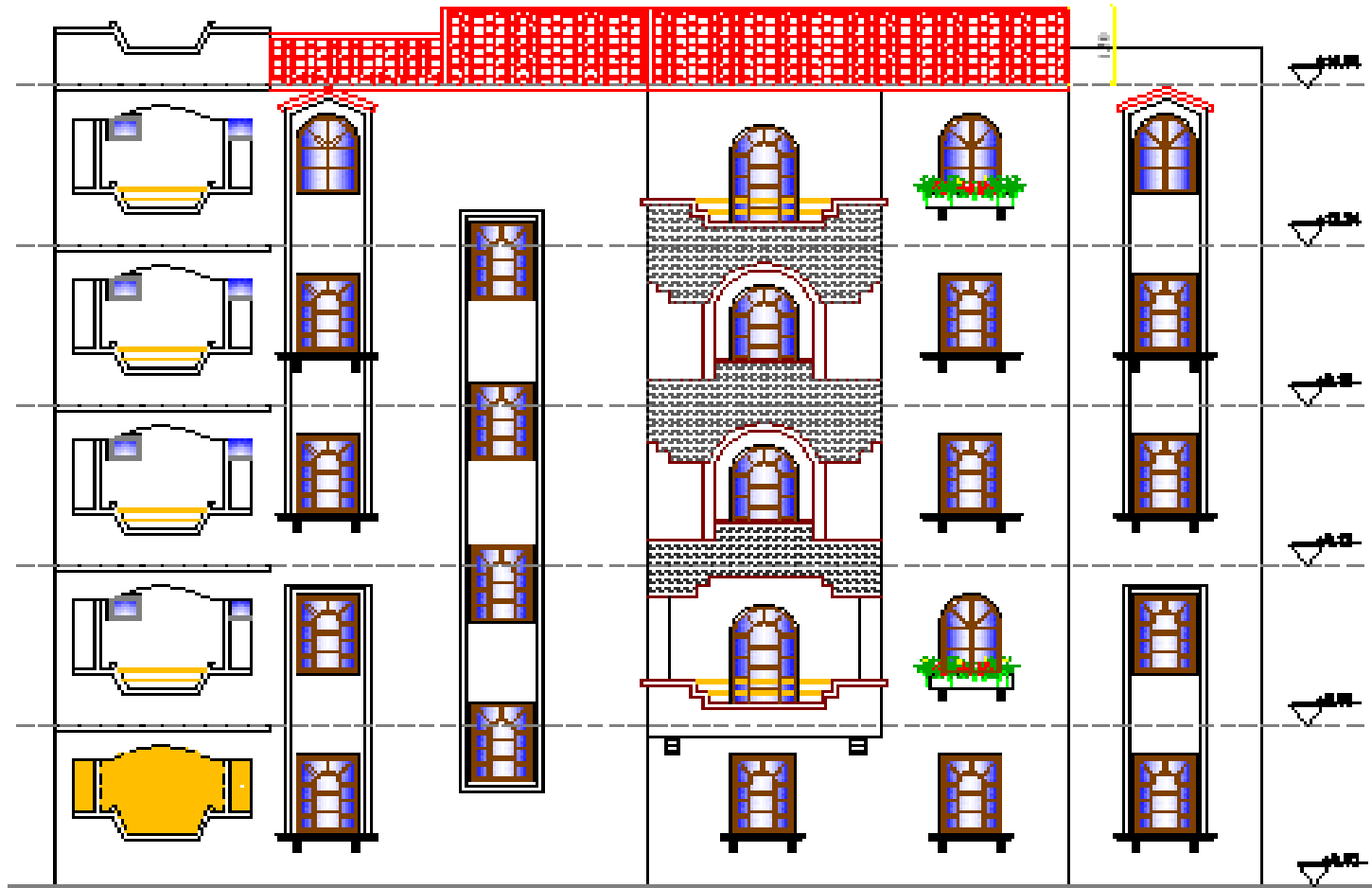




PLAN DU 1ER
ETAGE



COUPE A-A



FACADE POSTERIEURE



FACADE PRINCIPALE