

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة سعيدة - د. مولاي الطاهر
UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr.MOULAY TAHAR



Faculté de Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER en Génie Civil

Spécialité : Structure

Comportement sismique d'une structure mixte relatif à la disposition des voiles

Présenté par :

ABDELLAHI Ibrahim

HABIBECHE Ahmed

Devant le jury composé de :

M. BELLIA .Z

UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr.MOULAY TAHAR

Président

M. SELLA.F.H

UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr.MOULAY TAHAR

Examineur

M. SEDDIK.B

UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr.MOULAY TAHAR

Encadreur

Année universitaire 2019/2020

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu, le Tout-Puissant, qui nous a donné la santé, le courage et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

*Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à notre encadreur Mr. **Benali Seddik** pour le temps consacré à nous écouter, nous orienter et nous corriger tout au long de notre projet.*

*Un grand merci à tous nos professeurs qui nous ont suivis et aidés pendant notre cursus universitaire.
Sans oublier de remercier tous qui nous ont aidés d'achever ce modeste travail soit de près ou de loin.*

Sommaire

Introduction :.....	1
Que ce qu'un séisme ?.....	1
Objectif du mémoire :.....	2

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIE

Chapitre I : Séisme Et Contreventement

I.1.Introduction :.....	4
I.2.Généralité sur les séismes :.....	4
Comment se manifeste-il ?.....	5
I.3.Le classement des séismes :.....	6
I.4.La sismicité mondiale :.....	7
I.5.Le risque sismique en Algérie :.....	7
I.6.Historique :.....	8
I.7.Le séisme et les constructions en béton armé :.....	9
I.8La protection sismique des nouveaux bâtiments :.....	9
I.9.le contreventement :.....	10
I.10. Choix Du Contreventement.....	10
I.11.Type de contreventement :.....	11
I.12.Comportement des voiles en béton arme :.....	12
I.13.Modes de rupture des voiles élancés.....	16
I.14.Modes de rupture des voiles courtes.....	17

Chapitre II : Méthodes De Calcul Parasismique

I.15. Choix de la méthode de calcul :.....	19
I.16.Les méthodes classique :.....	19
I.16.1.La méthode statique équivalente :	19
I.16.1.1. Principe de la méthode : RPA 4.2.1.....	19
I.16.1.2. Condition d'application RPA 4.1.2 :	20
I.16.1.3. Modélisation :.....	20
I.16.2.La méthode modale spectrale :	22
I.16.2.1. Principe de la méthode spectrale :	22

I.16.2.2. Spectre de réponse de calcul :	23
I.16.3. Méthode dynamique :	23
I.16.3.1 Modélisation :	24
I.17 Les critères de comparaisons dans notre étude:	25
• B - L'analyse « Push-over » :	25
I.18.conclusion :	26

PARTIE II : ETUDE DE LA STRUCTURE CHOISIE

« Recherche de la disposition optimale des voiles »

II.1.Introduction :	27
II.2.Présentation et description de la structure choisie :	27
II.3- Dimensionnement de la structure :	28
II-4 Choix des dispositions de voiles à étudier:	30
II.4.1 Etude de la variante 1 (Exemple d'application) :	33
II.4.1.1Vérification du comportement dynamique :	33
II.4.1.2- Vérification Art 4.3.4 RPA 2003 :	34
II.4.1.3 Vérification Art 4.3.6 RPA 2003 :	34
II.4.1.4. Vérification Art 5.10 RPA 2003 :	35
II.4.1.5.Justification de l'interaction portiques-voiles	35
II.4.2. Etude de la variante 2 :	38
II.4.2.1Vérification du comportement dynamique :	38
II.4.2.2- Vérification Art 4.3.4 RPA 2003 :	39
II.4.2.3 Vérification Art 4.3.6 RPA 2003 :	39
II.4.2.4. Vérification Art 5.10 RPA 2003 :	39
II.4.2.5.Justification de l'interaction portiques-voiles	40
II.4.3. Etude de la variante 3:	42
II.4.3.1Vérification du comportement dynamique :	42
II.4.3.2- Vérification Art 4.3.4 RPA 2003 :	43
II.4.3.3 Vérification Art 4.3.6 RPA 2003 :	43
II.4.3.4. Vérification Art 5.10 RPA 2003 :	43
II.4.3.5.Justification de l'interaction portiques-voiles.....	44

II.4.4. Etude de la variante 4:	46
II.4.4.1 Vérification du comportement dynamique :	46
II.4.4.2- Vérification Art 4.3.4 RPA 2003 :	47
II.4.4.3 Vérification Art 4.3.6 RPA 2003 :	47
II.4.4.4. Vérification Art 5.10 RPA 2003 :	47
II.4.4.5. Justification de l'interaction portiques-voiles	48
II.4.5. Etude de la variante 5:	50
II.4.5.1 Vérification du comportement dynamique :	50
II.4.5.2- Vérification Art 4.3.4 RPA 2003 :	51
II.4.5.3 Vérification Art 4.3.6 RPA 2003 :	51
II.4.5.4. Vérification Art 5.10 RPA 2003 :	51
II.4.5.5. Justification de l'interaction portiques-voiles.....	52
II.4.6. Etude de la variante 6:	54
II.4.6.1 Vérification du comportement dynamique :	54
II.4.6.2- Vérification Art 4.3.4 RPA 2003 :	55
II.4.5.3 Vérification Art 4.3.6 RPA 2003 :	55
II.4.6.4. Vérification Art 5.10 RPA 2003 :	55
II.4.6.5. Justification de l'interaction portiques-voiles.....	56
II.5. Tableau récapitulatif des résultats de calcul des variantes:	57
II.6 Analyse des résultats étude des variantes :	58
II.6.1. Participation des masses:	58
Vérification Art 4.3.4 RPA 99 version 2003:	58
II.6.2. Période :	59
Vérification Art 4.2.4.4 RPA 99 version 2003:	59
II.6.3. Vérification du comportement dynamique :	60
II.6.4. Déplacement max de chaque variante :	61
Vérification Art 5.10 RPA 99 version 2003:	62
II.6.5. Répartition des charges horizontales entre voiles et portiques:	62
II.6.6. Répartition des charges verticales:	63
II.7. Conclusion :	64

PARTIE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

III.1.INTRODUCTION :	65
III.2.NECESSITE D'AJOUT DE VOILE :	65
III.2.1.Présentation de la variante Témoin :	65
III.2.1.1. Vérification du comportement dynamique de la variante témoin (sans voile)	66
III.2.2.Déplacement absolue d'une structure témoin :	66
III.2.2.1.Déplacement absolu de la variante témoin :	67
III.2.2.2.Déplacement absolu de la variante 1 :	67
III.2.3.Vérification de la période propre :	68
III.3.RESULTATS D'ETUDE DES DIFFERENTES VARIANTES :	68
III.4. COMPARAISON DES RESULTATS DES DIVERSES VARIANTES SUIVANT LES DIFFERENTS CRITERES:	69
III.4.1.Critère de comparaison 1 : Déplacement inter étages.....	69
III.4.1.1.Analyse des résultats du critère de comparaison 1 :	70
III.4.2.Critère de comparaison 2 :	70
III.4.2.1 Analyse des résultats :	71
III.4.3.Critère de comparaison 3 :	72
III.4.3.1.Analyse des résultats du critère 3 et conclusion finale :	74
III.5.ETUDE DE L'INFLUENCE DU NOMBRE DE VOILE SUR LA PERFORMANCE SISMIQUE D'UNE STRUCTURE LE MIXTE :	75
III.5.1.Présentation de la variante avec 2 voiles :	75
III.5.2.Vérification du comportement dynamique de la structure mixte avec 2 voiles :.....	76
III.5.3.Répartition des efforts horizontaux pour structure avec 2 voiles :.....	76
III.5.4.Présentation de la variante avec 8 voiles :	78
III.5.5.Vérification du comportement dynamique de la structure mixte avec 8 voiles :	78
III.5.6.Répartition des efforts horizontaux pour structure avec 8 voiles :.....	79
III.5.6. Analyse des résultats :... ..	80
III.6.CONCLUSION :	80

CONCLUSION

CONCLUSION :	81
--------------	----

LISTE DES TABLEAUX

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIE

Tableau I -1 : Classement des séismes	6
---	---

PARTIE II : ETUDE DE LA STRUCTURE CHOISIE

Tableau II.1 : Mode propre de la variante 1 (structure d'origine).....	33
Tableau II.2 : Déplacements inter-étages	35
Tableau II.3 : Pourcentage des efforts verticaux	36
Tableau II.4 : Pourcentage des efforts horizontaux.....	36
Tableau II.5 : Mode propre de la variante 2	38
Tableau II.6 : Déplacements inter-étages	39
Tableau II.7 : Pourcentage des efforts verticaux	40
Tableau II.8 : Pourcentage des efforts horizontaux.....	40
Tableau II.9 : Mode propre de la variante 3	42
Tableau II.10 : Déplacements inter-étages	43
Tableau II.11 : Pourcentage des efforts verticaux	44
Tableau II.12 : Pourcentage des efforts horizontaux.....	44
Tableau II.13 : Mode propre de la variante 4	46
Tableau II.14 : Déplacements inter-étages	47
Tableau II.15 : Pourcentage des efforts verticaux	48
Tableau II.16 : Pourcentage des efforts horizontaux.....	48
Tableau II.17 : Mode propre de la variante 5	50
Tableau II.18 : Déplacements inter-étages	51
Tableau II.19 : Pourcentage des efforts verticaux	52
Tableau II.20 : Pourcentage des efforts horizontaux.....	52
Tableau II.21 : Mode propre de la variante 6	54
Tableau II.22 : Déplacements inter-étages	55
Tableau II.23 : Pourcentage des efforts verticaux	56
Tableau II.24 : Pourcentage des efforts horizontaux.....	56
Tableau II.25 : récapitulatif des résultats de calcul des variantes	57

PARTIE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

Tableau III.1 : Comportement Dynamique De La Structure Sans Voile	66
Tableau III.2 : Deplacement Absolu De La Structure Sans Voile	67
Tableau III.3 : Deplacement Absolu De La Variante 1.....	67
Tableau III.4 : Verification De La Periode Propre Entre La Variante Temoin Et Variante D'origine	68
Tableau III.5: Recapitulatif Des Resultats De Calcul Des Variantes.....	69
Tableau III.6 : Deplacement Inter Etages De Differentes Variantes.....	69
Tableau III.7 : Valeurs De L'effort Tranchant Sismique Des Differentes Variantes.....	71
Tableau III.8 : Repartition De L'effort Sismique Des Differentes Variantes Sens -X ...	72
Tableau III.9 : Repartition De L'effort Sismique Des Differentes Variantes Sens -Y...	73
Tableau III.10 : Comportement Dynamique De La Structure Par 2 Voile.....	76
Tableau III.11 : Repartition Des Efforts Horizontaux Pour Structure Avec 2 Voiles	76
Tableau III.12 : Comportement Dynamique De La Structure Avec 8 Voiles.....	78
Tableau III.13 : Repartition Des Efforts Horizontaux Pour Structure Avec 8 Voiles	79
Tableau III.14 : Analyse Des Resultats Suivant Le Nombre De Voile.....	80

LISTE DES FIGURES

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIE

Figure I.1 : Zone de rupture de séisme.....	5
Figure I-2 : Sismicité dans le monde.....	7
Figure I-3 : le risque sismique en Algérie.....	8
Figure I.4 : Désolidarisation global des constructions [5].....	9
Figure. I.5 : Disposition des éléments de contreventement.....	12
Figure. I.6 : Structures « mixtes » avec des murs porteurs couplés à des portiques.....	13
Figure. I.7 : Structures à noyau central.....	13
Figure I.8: Structure uniquement à murs porteurs.....	14
Figure I.9: Schéma d'un voile plein et disposition du ferrailage.....	15
Figure I.10: Modes de rupture des voiles élancés (d'après [3]).....	17
Figure I.11: Modes de rupture des voiles élancés (d'après [4]).....	17
Figure I.12: Modes de rupture des voiles courts.....	18

PARTIE II : ETUDE DE LA STRUCTURE CHOISIE

Figure II.1 : Géométrie en plan et en élévation de la structure.....	29
Figure II.2 : Dispositions des voiles étudiées	31
Figure II.3 : Configuration en plan de la variante 1.	33
Figure II.4 : Configuration en plan de la variante 2.	38
Figure II.5 : Configuration en plan de la variante 3.	42
Figure II.6 : Configuration en plan de la variante 4.	46
Figure II.7 : Configuration en plan de la variante 5.	50
Figure II.8 : Configuration en plan de la variante 6.....	54
Figure II.9 : Histogramme participation des masses.....	58
Figure II.10 : Histogramme période fondamentale (sec).....	59
Figure II.11 : Histogramme masse modale 1er mode.....	60
Figure II.12 : Histogramme masse modale 2eme mode.....	60
Figure II.13: Histogramme masse modale 3eme mode.....	61
Figure II.14: Histogramme de déplacement max.....	61

Figure II.15: Histogramme répartition des charges horizontale entre voile et portique –Sens X.....	62
Figure II.16: Histogramme répartition des charges horizontale entre voile et portique –Sens Y.....	63
Figure II.17: Histogramme répartition des charges Verticale entre voile et portique.....	63

PARTIE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

Figure III.1: Vue en plan de la variante Témoin (sans voile).....	65
Figure III.2: Histogramme des déplacements inter étages de différentes variantes.....	70
Figure III.3: Histogramme des forces sismique des différentes variantes.....	71
Figure III.4 : Répartition de l'effort sismique des différentes variantes.....	73
Figure III.5 : Répartition de l'effort sismique des différentes variantes.....	74
Figure III.6: Vue en plan de la variante avec deux voiles.....	75
Figure III.7: Vue en plan de la variante avec 8 voiles.....	78

Résumé

Les structures contreventées par voiles ont montrées un bon comportement sismique, mais la distribution de ces derniers est très important pour aboutir à une conception adéquate qui permet d'avoir un meilleur comportement structurel et d'une exploitation maximale de la rigidité de la structure.

L'objectif recherché dans cette étude est améliorer le comportement sismique de la structure par l'influence de la position des voiles de contreventements, plusieurs variantes ont été proposées pour étudier la meilleure disposition des voiles de contreventement qui répond aux conditions décrites par le règlement RPA 99 version 2003.

Le travail présenté dans cette étude, traite le comportement des structures suite aux différentes positions des voiles de contreventement à travers, Six (6) variantes, en passant par les différentes vérifications :Comportement dynamique, déplacement inter étages, pourcentage des efforts horizontaux repris par les voiles et portiques; La modélisation de la structure a été faite avec le logiciel Robot (Structural Analysis professional 2014). Selon l'analyse de ces variantes ont montré que La meilleure disposition des voiles de contreventements est celle des voiles qui sont placées à la périphérie de la structure avec une parfaite symétrie.

Mots clés: Disposition optimale des voiles, comportement dynamique, rigidité, analyse, Structures mixtes, contraintes.

Abstract

The structures researching braced by concrete walls have shown a good seismic behavior, but the distribution of the latter is very important to achieve a proper conception that allows you to have a better structural behavior and maximum exploitation of the rigidity of the structure.

The objective sought in this study is to improve the seismic behavior of the structure by influence of the position of the concrete walls, several variants have been proposed to study the best layout of the walls which meets the conditions described by the regulation RPP 99 version 2003.

The work presented in this study, treats the behavior of structures following the different positions of the concrete walls, six variants, in passing by the various checks : dynamic behavior, moving inter-story, percentage of horizontal efforts taken by the walls and frames; the modeling of structure is done with Robot (Structural Analysis professional 2014). According to analysis of this variants ,we exhibit that The best layout of the concrete walls is one was placed in the periphery of the structure with a perfect symmetry.

Keywords: optimum disposition of shear wall, dynamic behavior, rigidity, analysis, mixed structures, constraints.

ملخص

تبدى الهياكل المقومة بالأحجبة الخرسانية السلوك الجيد للزلازل، و لكن توزيع هذه الأخيرة لها أهمية كبيرة للحصول على السلوك الأفضل للهياكل و أقصى حد من صلابتها.

إن هذه الدراسة تهدف إلى تحسن سلوك الهياكل للزلازل وذلك بتأثير مختلف وضعيات الأجنحة الخرسانية المقاومة بعدة بدائل و التي تفي بالشروط المبينة بالتنظيم 99 الصيغة 2003.

قدمت هذه الدراسة لمعالجة سلوك الهياكل نتيجة لمختلف مواقع الأحجبة الخرسانية من خلال ستة (6 خيارات) عن طريق مختلف التحقيقات : سلوك ديناميكي، الانتقال بين الطوابق، نسبة الجهود الأفقية المسترجعة من الحجاب الخرساني و النظام الهيكلي، دراسة الهيكل قدمت بالبرمجيات Robot (Structural Analysis professional 2014).

حسب تحليل مختلف الخيارات تبين إن أفضل توزيع للأجنحة الخرسانية المقاومة وضعها في محيط الهيكل مع تحقيق التناظر التام.

كلمات رئيسية : الوضع الأمثل للأجنحة الخرسانية المقاومة 'السلوك الديناميكي ' الصلابة ، التحليل ، هيكل مختلط، الإجهاد.

Introduction :

Parmi la famille des risques naturels, les séismes occupent un problème d'actualité provoquant plus souvent systématiquement des dégâts dans les ouvrages de génie civil (bâtiments, ponts, centrales nucléaires, barrages...), et de nombre de victimes et de blessés. C'est la raison pour laquelle la prévention et la connaissance du comportement de ces ouvrages sont indispensables.

Que ce qu'un séisme ?

Un tremblement de terre ou séisme est un mouvement naturel du sol qui débute brusquement et qui dure peu : de quelques secondes à quelques minutes.

Les séismes sont dus pour la plupart aux déformations lentes de la couche externe de la Terre, appelée lithosphère. Celle-ci est composée de grandes plaques rigides animées de mouvements relatifs très lents.

A la limite de ces plaques, des contraintes s'accumulent dans les roches qui se déforment jusqu'au point de rupture, au-delà duquel elles cassent brutalement le long d'une ou plusieurs failles, en libérant une énergie considérable.

Le point à partir duquel se développe la rupture s'appelle le foyer. 80% des foyers sont situés entre la surface de la terre et 60 km de profondeur.

Le bon fonctionnement des ouvrages et des structures est devenu un souci permanent des constructeurs et des chercheurs du domaine des constructions et de génie civil.

A l'état actuel, les considérations d'adaptation au service et de durabilité ont une importance particulière.

Les structures en béton armé sont généralement modélisées et calculées comme si elles étaient homogènes et isotropes dont la réponse globale peut être considérée comme acceptable par rapport à la réponse réelle.

En principe, la géométrie de ce type de structure nécessite une réponse structurale en fonction des caractéristiques mécaniques et des lois constitutives des matériaux ; béton et

acier ; Et la manière dont oscillent les bâtiments exposés à un séisme dépend aussi de l'architecture du système porteur, qui est étroitement lié à la forme du bâtiment, à la disposition des éléments lourds et rigides comme les murs ou autres éléments participant au contreventement.

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.

Objectif du mémoire :

Le but de notre projet de fin d'étude est d'étudier le comportement sismique d'une structure mixte relative à la disposition des voiles. La disposition des voiles dans les structures mixtes est essentielle pour avoir une conception adéquate et un bon comportement structurel.

Une bonne disposition des voiles permet d'avoir une exploitation optimale de la rigidité de la structure, cependant, dans le code parasismique algérien (**RPA2003**), aucun article n'est relatif à ce paramètre, ce qui pousse les concepteurs des structures mixtes à essayer d'une manière systématique de

disposer les voiles sur la périphérie du bâtiment, or ce choix peut être discutable au vu de la diversité des structures mixtes.

L'objectif assigné à cette étude est de proposer aux concepteurs de structures mixtes une méthode, qui permet de rechercher la disposition optimale des voiles, en évaluant la performance sismique de la structure selon plusieurs variantes de la disposition des voiles.

PARTIE II : ETUDE DE LA STRUCTURE CHOISIE « Recherche de la disposition optimale des voiles »

II.1.Introduction :

L'utilisation des voiles en béton armé pour la construction des structures dans les régions sismiques devient de plus en plus fréquente. La raison est que les voiles, outre leur rôle porteur vis-à-vis des charges verticales, sont particulièrement efficaces pour assurer la résistance aux forces horizontales. Reprenant la plus grande partie de l'effort sismique, ils conditionnent le comportement des structures et jouent

un rôle primordial pour la sécurité.

La disposition des voiles dans les structures mixtes est essentielle pour avoir une conception adéquate et un bon comportement structurel. Une bonne disposition des voiles permet d'avoir une exploitation optimale de la rigidité de la structure, cependant, dans le code parasismique algérien (**RPA2003**), aucun article n'est relatif à ce paramètre, ce qui pousse les concepteurs des structures mixtes à essayer d'une manière systématique de disposer les voiles sur la périphérie du bâtiment.

L'objectif de ce chapitre est d'exposer une méthode qui permet de rechercher la disposition optimale des voiles en évaluant la performance sismique de la structure selon plusieurs variantes de la disposition de voiles.

II.2.Présentation et description de la structure choisie :

La structure étudiée est un bâtiment en (R+5) à usage d'habitations, symétrique et régulier, Ce bâtiment possède cinq travées dans les deux directions orthogonales avec un espacement uniforme de 3,75 m, et une hauteur de chaque étage uniforme de 3.06 m. Le bâtiment est supposé être localisé dans la wilaya de Oran de la zone sismique IIa (moyenne sismicité) selon la classification du RPA99/V2003, implantés sur un sol de fondation supposé être ferme, sol de type S3 et classé dans le {groupe d'usage 2}, selon le même code.

Le système de contreventement est assuré par des voiles et des portiques (structure mixte en béton armé), sans remplissages en maçonnerie.

Les planchers ont une épaisseur de 20cm (16+4) (Corps creux+ dalle de compression), assurant une rigidité du diaphragme horizontal et une sécurité contre l'incendie.

Hauteur total du bâtiment **18.36m.**

Hauteur du rez chaussée **3.06m.**

Hauteur de l'étage courant **3.06m.**

Dimensions en plan :

Longueur totale **15.00m.**

Largeur totale **15.00 m.**

II.3- Dimensionnement de la structure :

La structure est dimensionnée et vérifiée selon le code de béton aux états limites (BAEL91 mod 99) et le règlement parasismique algérien (RPA2003) sur la base d'une analyse linéaire élastique effectuée par le logiciel Robot.

Poutres :

Les poutres principales de la structure sont les porteuses, elles pré dimensionnées selon les formules suivantes :

La hauteur h par : **$L/15 \leq h \leq L/10$.**

La largeur b par : **$0.6h \leq b \leq 0.7 h$.**

Donc Poutre principale = **35x35 cm²**

Les poutres secondaires (non porteuses) sont dimensionnées avec les mêmes formules. Donc
Poutre secondaire = **35x35 cm²**

Poteaux

Le pré dimensionnement des poteaux est fait a l'ELS en compression simple en considérant un effort N qui sera applique sur la section du béton du poteau le plus sollicité, cette section transversale est donnée par la relation suivante :

$$B \geq N / \sigma_{bc}$$

σ_{bc} : la contrainte limite de service du béton en compression

$$\sigma_{bc} = 0.6 f_{c28} = 15MPa$$

D'après RPA 99/2003 Art (7.4.3.1) : pour éviter ou limiter le risque sismique de rupture fragile d'un poteau en béton armé (éclatement ou écrasement du béton) sous sollicitation d'ensemble dues au séisme, l'effort normal de compression de calcul note Nd, exprime dans cette

formule :
$$V = \frac{N_d}{B_0 f_{c28}} \leq 0.3$$

Poteau = $35 \times 35 \text{ cm}^2$

Les voiles : on opte pour une épaisseur de 20 cm.

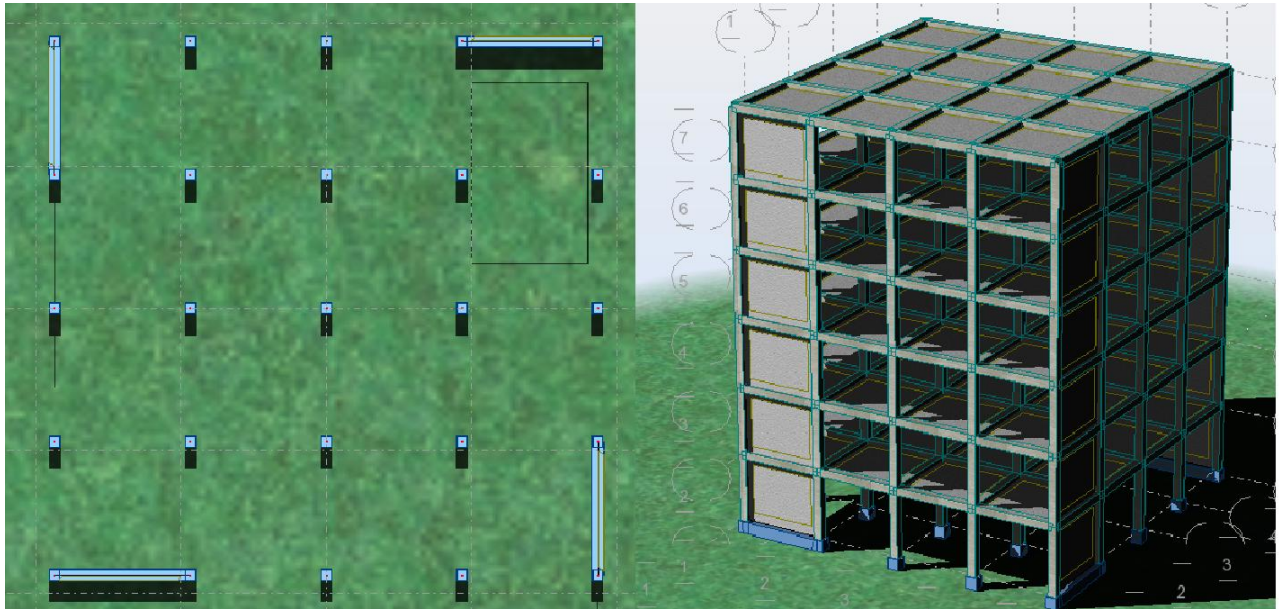


Figure II.1 : Géométrie en plan et en élévation de la structure

Par ailleurs, avant de passer au ferrailage, la structure doit satisfaire les conditions suivantes :

- **Art 4.3.4 RPA 2003 :** le nombre de modes de vibration à retenir dans chacune des deux directions d'excitation doit être tel que :

- La somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à au moins **90 %** de la masse totale de la structure.

- Tous les modes ayant une masse modale effective supérieure à **5%** de la masse totale de la structure doivent être retenus pour la détermination de la réponse totale de la structure.

- **Art 4.3.6 RPA 2003 :** la résultante des forces sismiques à la base V_t obtenue par combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à **80 %** de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente V_{MSE} pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule empirique appropriée.
- **Art 5.10 RPA 2003 :** Les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents ne doivent pas dépasser **1.0%** de la hauteur de l'étage.
- **Art 3.4 RPA 2003 :** Justification de l'interaction portiques voiles

II-4 Choix des dispositions de 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.

Par conséquent nous allons opter pour des dispositions de voiles symétriques de telle façon à avoir un comportement dynamique dominé par des oscillations de **translations pures** suivant les deux directions principales de la structure.

Par ailleurs, en raison de la symétrie parfaite de la structure étudiée (15 m x 15 m), nous allons effectuer des analyses push over uniquement suivant le sens xx en faisant varier les dispositions de voiles suivant cette direction.

Les voiles disposés suivant la direction (yy) ont été introduits dans le seul souci de satisfaire les conditions du RPA relatives aux structures mixtes, au vu de leur faible rigidité hors plan, leur position n'influence pas les résultats de l'analyse push over dans le sens (xx).

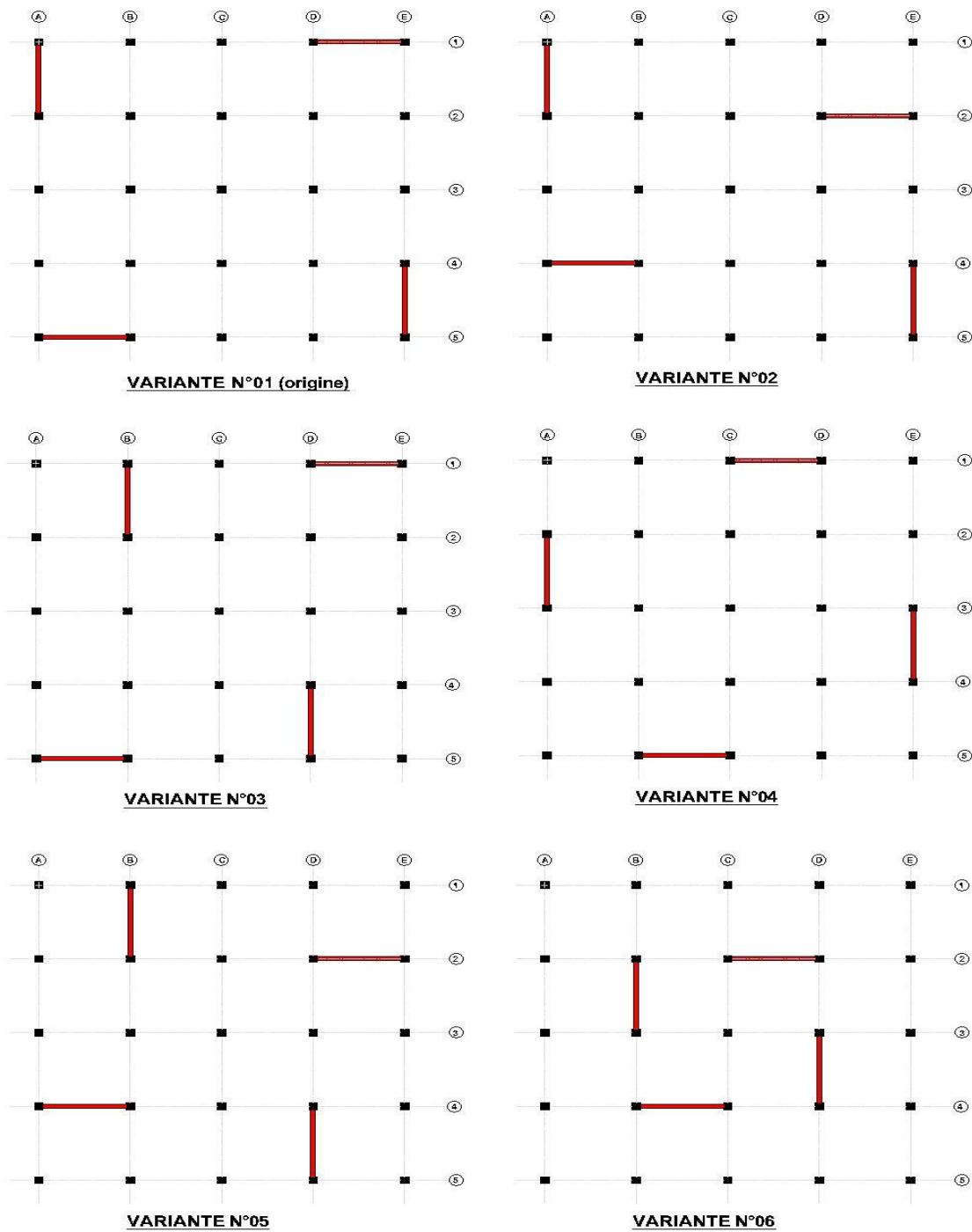


Figure II.2 : Dispositions des voiles étudiées

Etude de la variante 1

II.4.1 Etude de la variante 1 (Exemple d'application) :

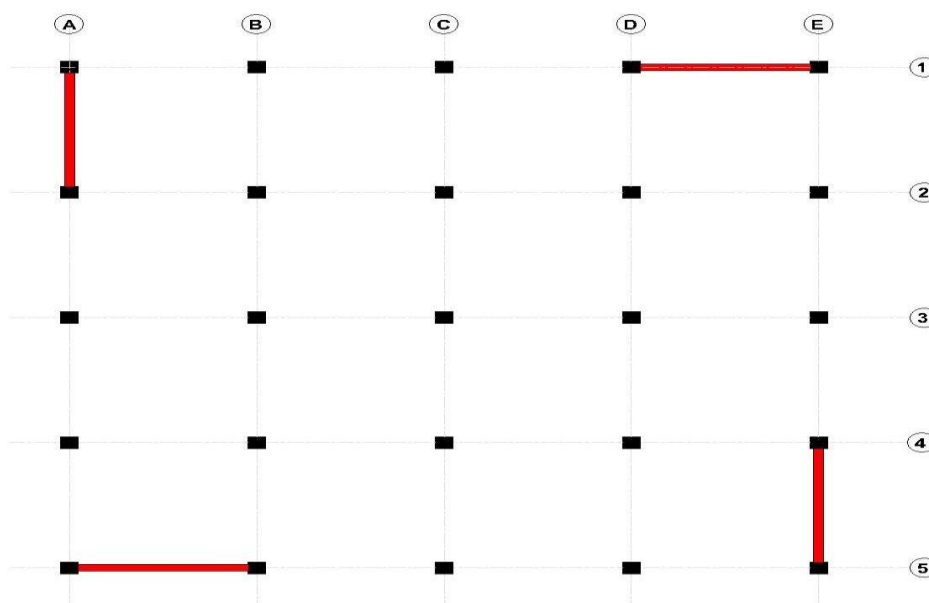


Figure II.3 : Configuration en plan de la variante 1.

II.4.1.1 Vérification du comportement dynamique :

Les résultats de l'analyse et de conception d'une structure, doit satisfaire les vérifications imposées par les règlements parasismique, en particulier, l'analyse modale :

Mode	Période (S)	Masses cumulées UX (%)	Masses cumulées UY (%)	Masses modale UX (%)	Masses modale UY (%)	Tot.masse UX,UY (t)	Nature
1	0,49	61,75	8,25	61,75	8,25	1794,88	Transl.X
2	0,49	70,00	69,98	8,25	61,73	1794,88	Transl.Y
3	0,33	70,00	69,98	0,00	0,00	1794,88	Torsion
4	0,12	87,26	71,81	17,26	1,83	1794,88	/
5	0,12	89,09	89,08	1,83	17,27	1794,88	/
6	0,07	89,09	89,08	0,00	0,00	1794,88	/
7	0,06	94,31	89,75	5,22	0,67	1794,88	/
8	0,06	95,00	94,96	0,68	5,21	1794,88	/
9	0,05	96,81	95,25	1,82	0,28	1794,88	/
10	0,05	97,11	97,04	0,29	1,80	1794,88	/

Tableau II.1 : Mode propre de la variante 1 (structure d'origine)

Les modes 1 et 2 sont des **translations pures** suivant les directions principales de la structure, ce qui ne donne aucune torsion dans les modes prépondérants.

II.4.1.2- Vérification Art 4.3.4 RPA 2003 :

Le nombre de modes de vibration à retenir dans chacune des deux directions d'excitation doit être tel que :

- La somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à au moins à **90 %** de la masse totale de la structure.

Direction xx : 10 modes (**95,00%** de la masse sismique de la structure)

Direction yy : 10 modes (**94,96%** de la masse sismique de la structure)

II.4.1.3 Vérification Art 4.3.6 RPA 2003 :

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

- **Efforts tranchants (analyse modale spectrale) :**

$$V_x = 1445,04 \text{ KN.}$$

$$V_y = 1469,21 \text{ KN.}$$

- **Efforts tranchant méthode statique équivalente (RPA 2003):**

D'après RPA 99/2003, la force sismique se calculé par la formule :

$$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} \cdot W \quad (\text{II.1})$$

On a une structure dans la zone Iia, avec un groupe d'usage 2 ; Donc

$A = 0.15$ (Zone IIa) , $R = 5$ (structure mixte avec interaction).

$$T = C_t \cdot h^{3/4} \quad (\text{II.2})$$

On a contreventement assuré partiellement par des voiles en béton armé

$$T = 0.09 h_N / \sqrt{D} \quad (\text{II.2})$$

Avec $C_t = 0,050$ $h = 18,36 \text{ m}$,Donc : $T = 0,44 \text{ s}$

Type de sol S3 : ($T_1 = 0,15 \text{ s}$; $T_2 = 0,50 \text{ s}$)

$$D = 2,5 \eta \quad 0 \leq T \leq T_2 \quad (\text{II.3})$$

$$\eta = \sqrt{7 / (2 + \xi)} \geq 0.7 \quad (\text{II.4})$$

$D = 1,909$ (facteur d'amplification dynamique).

$Q = 1,15$ (facteur de qualité).

$W = \sum WGi + \beta \sum WQi$ avec $\beta = 0.2$ (bâtiment d'habitation)

$W = 28671,75 \text{ KN}$ (poids total de la structure sous combinaison $G+0.2Q$).

$V_{MSE} = 1634,28 \text{ KN}$

$80\% V_{MSE} = 0,80 \times 1634,28 = 1307,42 \text{ KN}$

$V_x \text{ dyn} = 1445,04 \text{ KN} > 80\% V_{MSE}$

$V_y \text{ dyn} = 1469,21 \text{ KN} > 80\% V_{MSE}$

II.4.1.4. Vérification Art 5.10 RPA 2003 :

Les déplacements latéraux d'un étage par rapport à l'étage qui lui est adjacent ne doivent pas dépasser 1.0 % de la hauteur de l'étage (3cm).

Etages	Δx (cm)	Δy (cm)
1	0,3	0,3
2	1,0	1,0
3	0,8	0,8
4	1,0	1,0
5	0,9	0,9
6	0,9	0,9

Tableau II.2 : Déplacements inter-étages

II.4.1.5. Justification de l'interaction portiques-voiles (Art 3.4 RPA 2003) :

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

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

Les charges horizontales sont reprises conjointement par les voiles et les portiques proportionnellement à leurs rigidités relatives.

Répartition de charges verticales P :

Etage	P(KN)	P repris par les Voiles (%)	P repris par les Portiques (%)
Etage 1	28 671,75	20,81	79,19
Etage 2	20 711,25	20,71	79,29
Etage 3	14 022,00	20,83	79,17
Etage 4	8 604,00	20,77	79,23
Etage 5	4 457,25	20,30	79,70
Etage 6	1 581,75	17,77	82,23
	Moyenne	20,20	79,80

Tableau II.3 : Pourcentage des efforts verticaux repris par voiles et les portiques

Répartition des charges horizontales (V_x , V_y):

Etage	V_x repris par		V_y repris par	
	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)
Etage 1	87,31	12,69	87,32	12,68
Etage 2	81,47	18,53	81,48	18,52
Etage 3	74,22	25,78	74,23	25,77
Etage 4	67,18	32,82	67,18	32,82
Etage 5	57,83	42,17	57,85	42,15
Etage 6	27,93	72,07	28,05	71,95
Moyenne	65,99	34,01	66,02	33,98

Tableau II.4 : Pourcentage des efforts horizontaux repris par les voiles et les portiques.

Etude de la variante 2

II.4.2. Etude de la variante 2:

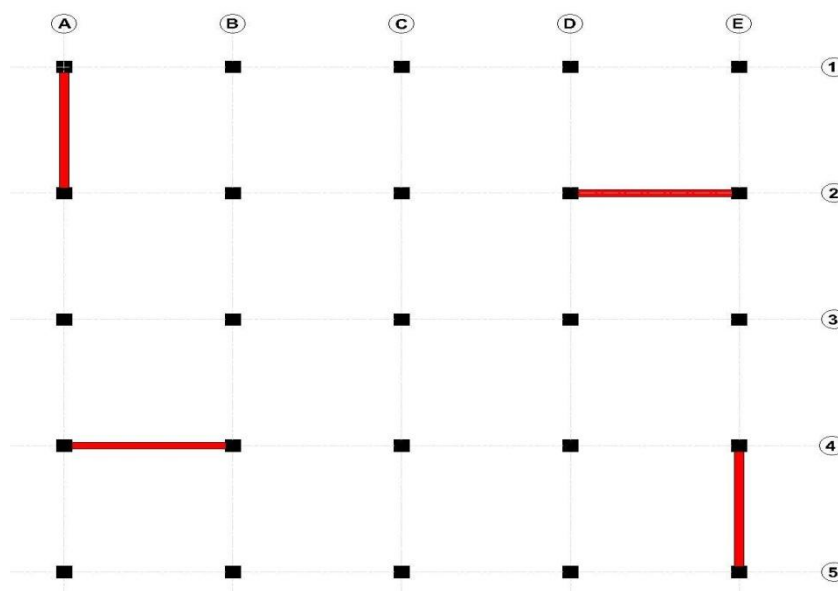


Figure II.4 : Configuration en plan de la variante 2.

II.4.2.1 Vérification du comportement dynamique :

Mode	Période (S)	Masses cumulées UX (%)	Masses cumulées UY (%)	Masses modale UX (%)	Masses modale UY (%)	Tot.masse UX,UY (t)	Nature
1	0,46	0,72	67,98	0,72	67,98	1617,64	Transl.X
2	0,44	70,03	68,82	69,31	0,84	1617,64	Transl.Y
3	0,37	70,34	69,88	0,31	1,06	1617,64	/
4	0,11	70,39	88,69	0,05	18,81	1617,64	/
5	0,11	88,90	88,74	18,51	0,05	1617,64	/
6	0,09	88,92	88,94	0,02	0,20	1617,64	/
7	0,06	89,00	94,68	0,08	5,74	1617,64	/
8	0,05	94,87	94,76	5,87	0,08	1617,64	/
9	0,05	94,89	96,80	0,03	2,04	1617,64	/
10	0,04	94,96	96,82	0,07	0,02	1617,64	/

Tableau II.5 : Mode propre de la variante 2

II.4.2.2- Vérification Art 4.3.4 RPA 2003 :

Direction xx : 10 modes (**94,87%** de la masse sismique de la structure)

Direction yy : 10 modes (**94,76%** de la masse sismique de la structure)

II.4.2.3 Vérification Art 4.3.6 RPA 2003 :

- **Efforts tranchants (analyse modale spectrale) :**

$$V_x = 1409,72 \text{ KN.}$$

$$V_y = 1589,35 \text{ KN.}$$

- **Efforts tranchant méthode statique équivalente (RPA 2003):**

D'après RPA 99/2003 ,la force sismique est :

$$V_{MSE} = 1634,28 \text{ KN}$$

$$80\% V_{MSE} = 0,80 \times 1634,28 = 1307,42 \text{ KN}$$

$$V_x \text{ dyn} = 1409,72 \text{ KN} > 80\% V_{MSE}$$

$$V_y \text{ dyn} = 1589,35 \text{ KN} > 80\% V_{MSE}$$

II.4.2.4. Vérification Art 5.10 RPA 2003 :

Ce tableau présent les valeurs de déplacement inter-étages calculé par l'analyse modale spectrale obtenue par ROBOT :

Étages	Δx (cm)	Δy (cm)
1	0,0	0,0
2	0,1	0,1
3	0,1	0,8
4	0,2	0,4
5	0,3	0,5
6	0,5	0,7

Tableau II.6 : Déplacements inter-étages

II.4.2.5. Justification de l'interaction portiques-voiles (Art 3.4 RPA 2003) :

Répartition de charges verticales P :

Etage	P(KN)	P repris par les Voiles (%)	P repris par les Portiques (%)
Etage 1	28 671,75	29,45	70,55
Etage 2	20 711,25	29,94	70,06
Etage 3	14 022,00	30,39	69,61
Etage 4	8 604,00	30,62	69,38
Etage 5	4 457,25	30,58	69,42
Etage 6	1 581,75	28,80	71,20
	Moyenne	29,96	70,04

Tableau II.7 : Pourcentage des efforts verticaux repris par voiles et les portiques

Répartition des charges horizontales (V_x , V_y):

Etage	V_x repris par		V_y repris par	
	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)
Etage 1	88,18	11,82	87,46	12,54
Etage 2	82,63	17,37	81,88	18,12
Etage 3	76,20	23,80	74,85	25,15
Etage 4	69,90	30,10	68,09	31,91
Etage 5	62,50	37,50	59,23	40,77
Etage 6	35,48	64,52	30,65	69,35
Moyenne	69,15	30,85	67,03	32,97

Tableau II.8 : Pourcentage des efforts horizontaux repris par les voiles et les portiques.

Etude de la variante 3

II.4.3. Etude de la variante 3:

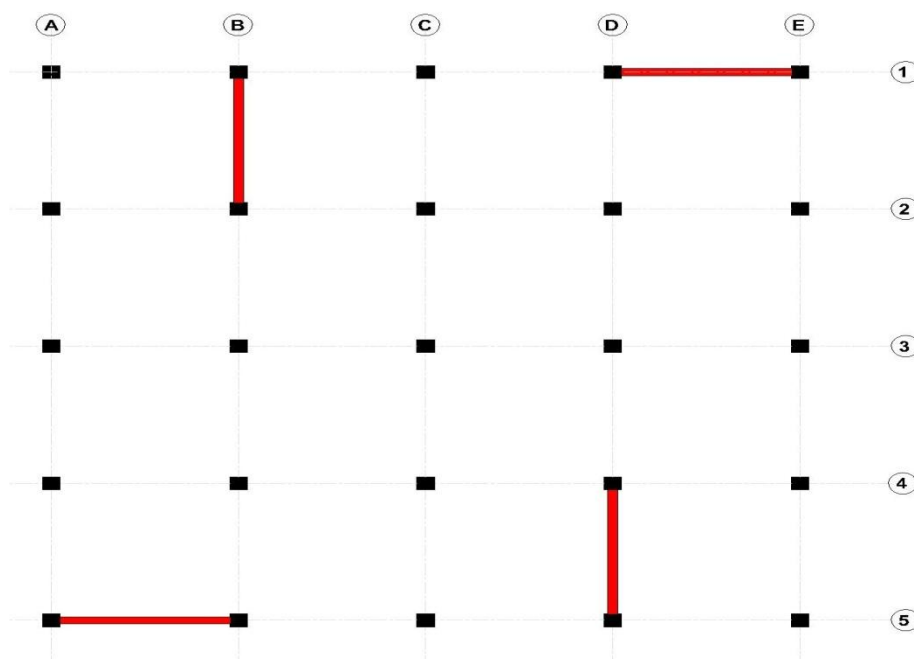


Figure II.5 : Configuration en plan de la variante 3.

II.4.3.1 Vérification du comportement dynamique :

Mode	Période (S)	Masses cumulées UX (%)	Masses cumulées UY (%)	Masses modale UX (%)	Masses modale UY (%)	Tot.masse UX,UY (t)	Nature
1	0,49	67,48	2,57	67,48	2,57	1794,88	Transl.X
2	0,48	70,08	70,15	2,60	67,58	1794,88	Transl.Y
3	0,38	70,08	70,15	0,00	0,00	1794,88	/
4	0,12	89,12	70,16	19,04	0,01	1794,88	/
5	0,11	89,13	89,07	0,01	18,91	1794,88	/
6	0,09	89,13	89,07	0,00	0,00	1794,88	/
7	0,06	95,02	89,08	5,88	0,02	1794,88	/
8	0,05	95,04	95,12	0,02	6,03	1794,88	/
9	0,05	97,14	95,12	2,11	0,00	1794,88	/
10	0,05	97,14	95,12	0,00	0,00	1794,88	/

Tableau II.9 : Mode propre de la variante 3

II.4.3.2- Vérification Art 4.3.4 RPA 2003 :

Direction xx : 10 modes (**95,00%** de la masse sismique de la structure)

Direction yy : 10 modes (**94,96%** de la masse sismique de la structure)

II.4.3.3 Vérification Art 4.3.6 RPA 2003 :

- **Efforts tranchants (analyse modale spectrale) :**

$$V_x = 1458,45 \text{ KN.}$$

$$V_y = 1459,28 \text{ KN.}$$

- **Efforts tranchant méthode statique équivalente (RPA 2003):**

D'après RPA 99/2003, la force sismique est :

$$V_{MSE} = 1634,28 \text{ KN}$$

$$80\% V_{MSE} = 0,80 \times 1634,28 = 1307,42 \text{ KN}$$

$$V_x \text{ dyn} = 1458,45 \text{ KN} > 80\% V_{MSE}$$

$$V_y \text{ dyn} = 1459,28 \text{ KN} > 80\% V_{MSE}$$

II.4.3.4. Vérification Art 5.10 RPA 2003 :

Étages	Δx (cm)	Δy (cm)
1	0,3	0,3
2	0,9	0,9
3	0,8	0,8
4	0,9	0,8
5	1,0	0,9
6	0,8	0,8

Tableau II.10 : Déplacements inter-étages

II.4.3.5. Justification de l'interaction portiques-voiles (Art 3.4 RPA 2003) :

Répartition de charges verticales P :

Etage	P(KN)	P repris par les Voiles (%)	P repris par les Portiques (%)
Etage 1	28 671,75	28,68	71,32
Etage 2	20 711,25	28,98	71,02
Etage 3	14 022,00	29,31	70,69
Etage 4	8 604,00	29,50	70,50
Etage 5	4 457,25	29,47	70,53
Etage 6	1 581,75	27,94	72,06
	Moyenne	28,98	71,02

Tableau II.11 : Pourcentage des efforts verticaux repris par voiles et les portiques

Répartition des charges horizontales (V_x , V_y):

Etage	V_x repris par		V_y repris par	
	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)
Etage 1	87,42	12,58	90,31	9,69
Etage 2	86,67	13,33	82,34	17,66
Etage 3	74,83	25,17	75,63	24,37
Etage 4	68,07	31,93	80,98	19,02
Etage 5	59,14	40,86	61,14	38,86
Etage 6	70,88	29,12	33,29	66,71
Moyenne	74,50	25,50	70,61	29,39

Tableau II.12 : Pourcentage des efforts horizontaux repris par les voiles et les portiques.

Etude de la variante 4

II.4.4. Etude de la variante 4:

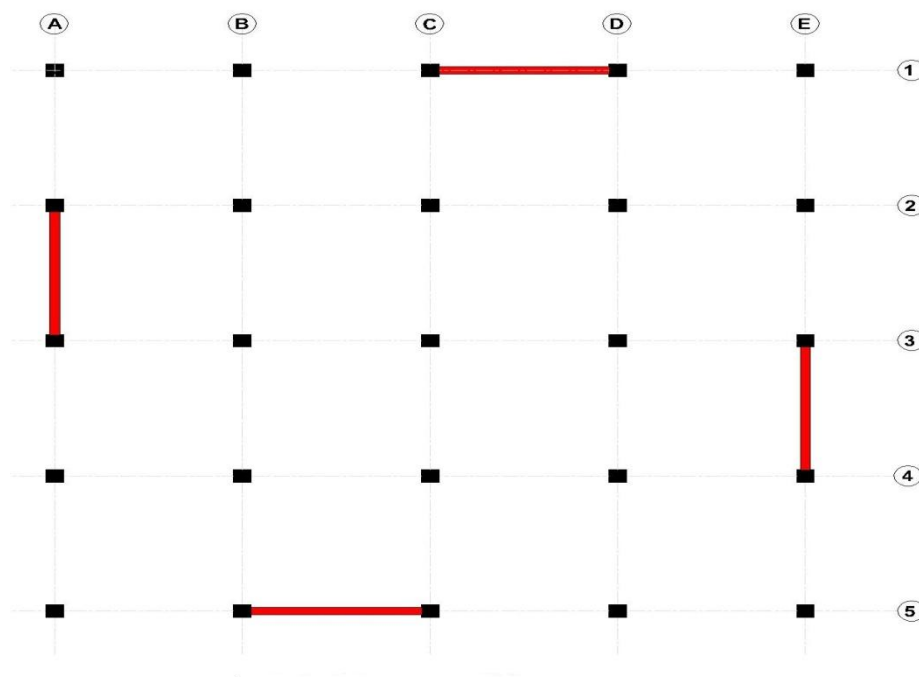


Figure II.6 : Configuration en plan de la variante 4.

II.4.4.1 Vérification du comportement dynamique :

Mode	Période (S)	Masses cumulées UX (%)	Masses cumulées UY (%)	Masses modale UX (%)	Masses modale UY (%)	Tot.masse UX,UY (t)	Nature
1	0,47	0,28	70,07	0,28	70,07	1794,88	Transl.Y
2	0,47	70,34	70,34	70,07	0,28	1794,88	Transl.X
3	0,32	70,34	70,34	0,00	0,00	1794,88	/
4	0,11	70,34	89,07	0,00	18,73	1794,88	/
5	0,11	89,08	89,07	18,73	0,00	1794,88	/
6	0,07	89,08	89,07	0,00	0,00	1794,88	/
7	0,05	89,08	95,17	0,00	6,09	1794,88	/
8	0,05	95,17	95,17	6,09	0,00	1794,88	/
9	0,03	95,17	97,47	0,00	2,30	1794,88	/
10	0,03	97,47	97,47	2,30	0,00	1794,88	/

Tableau II.13 : Mode propre de la variante 4

II.4.4.2- Vérification Art 4.3.4 RPA 2003 :

Direction xx : 10 modes (**95,17%** de la masse sismique de la structure)

Direction yy : 10 modes (**95,17%** de la masse sismique de la structure)

II.4.4.3 Vérification Art 4.3.6 RPA 2003 :

- **Efforts tranchants (analyse modale spectrale) :**

$$V_x = 1331,12 \text{ KN.}$$

$$V_y = 1321,85 \text{ KN.}$$

- **Efforts tranchant méthode statique équivalente (RPA 2003):**

D'après RPA 99/2003, la force sismique est :

$$V_{MSE} = 1634,28 \text{ KN}$$

$$80\% V_{MSE} = 0,80 \times 1634,28 = 1307,42 \text{ KN}$$

$$V_x \text{ dyn} = 1331,12 \text{ KN} > 80\% V_{MSE}$$

$$V_y \text{ dyn} = 1321,85 \text{ KN} > 80\% V_{MSE}$$

II.4.4.4. Vérification Art 5.10 RPA 2003 :

Etages	Δx (cm)	Δy (cm)
1	0,2	0,1
2	0,7	0,1
3	0,7	0,6
4	1,2	0,1
5	0,9	1,4
6	0,9	1,3

Tableau II.14 : Déplacements inter-étages

II.4.4.5. Justification de l'interaction portiques-voiles (Art 3.4 RPA 2003) :

Répartition de charges verticales P :

Etage	P(KN)	P repris par les Voiles (%)	P repris par les Portiques (%)
Etage 1	28 671,75	26,51	73,49
Etage 2	20 711,25	26,86	73,14
Etage 3	14 022,00	27,25	72,75
Etage 4	8 604,00	27,44	72,56
Etage 5	4 457,25	27,35	72,65
Etage 6	1 581,75	25,61	74,39
Moyenne		26,84	73,16

Tableau II.15 : Pourcentage des efforts verticaux repris par voiles et les portiques

Répartition des charges horizontales (V_x , V_y):

Etage	V_x repris par		V_y repris par	
	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)
Etage 1	88,04	11,96	88,04	11,96
Etage 2	82,05	17,95	82,05	17,95
Etage 3	75,13	24,87	75,12	24,88
Etage 4	68,61	31,39	80,72	19,28
Etage 5	60,71	39,29	60,71	39,29
Etage 6	31,01	68,99	31,00	69,00
Moyenne	67,59	32,41	69,61	30,39

Tableau II.16 : Pourcentage des efforts horizontaux repris par les voiles et les portiques.

Etude de la variante 5

II.4.5. Etude de la variante 5:

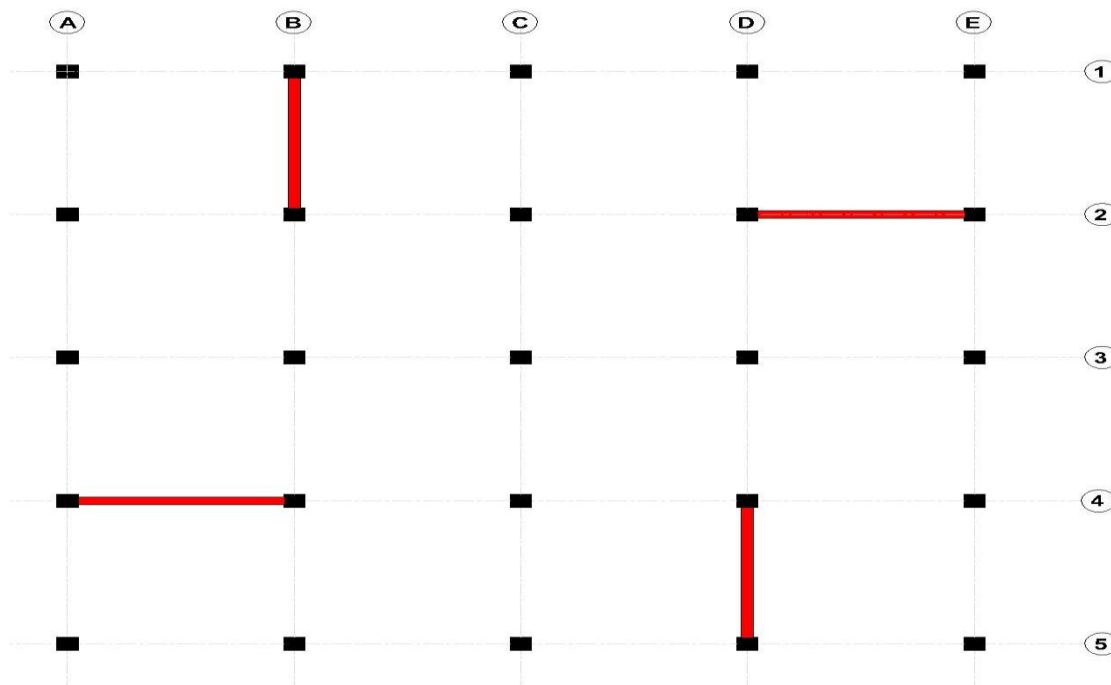


Figure II.7 : Configuration en plan de la variante 5.

II.4.5.1 Vérification du comportement dynamique :

Mode	Période (S)	Masses cumulées UX (%)	Masses cumulées UY (%)	Masses modale UX (%)	Masses modale UY (%)	Tot.masse UX,UY (t)	Nature
1	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	1794,88	/
2	0,45	33,07	37,35	33,07	37,35	1794,88	/
3	0,45	70,42	70,42	37,35	33,07	1794,88	/
4	0,12	70,42	70,42	0,00	0,00	1794,88	/
5	0,11	78,33	81,50	7,91	11,08	1794,88	/
6	0,11	89,41	89,41	11,08	7,91	1794,88	/
7	0,05	89,41	89,41	0,00	0,00	1794,88	/
8	0,05	91,30	93,69	1,89	4,28	1794,88	/
9	0,05	95,58	95,58	4,28	1,89	1794,88	/
10	0,04	95,58	95,58	0,00	0,00	1794,88	/

Tableau II.17 : Mode propre de la variante 5

II.4.5.2- Vérification Art 4.3.4 RPA 2003 :

Direction xx : 10 modes (91,30% de la masse sismique de la structure)

Direction yy : 10 modes (93,69% de la masse sismique de la structure)

II.4.5.3 Vérification Art 4.3.6 RPA 2003 :

- Efforts tranchants (analyse modale spectrale) :

$$V_x = 998,97 \text{ KN.}$$

$$V_y = 998,97 \text{ KN.}$$

- Efforts tranchant méthode statique équivalente (RPA 2003):

D'après RPA 99/2003, la force sismique est :

$$V_{MSE} = 1634,28 \text{ KN}$$

$$80\% V_{MSE} = 0,80 \times 1634,28 = 1307,42 \text{ KN}$$

$$V_x \text{ dyn} = 998,97 \text{ KN} < 80\% V_{MSE} \quad \rightarrow \text{n'est pas vérifier}$$

$$V_y \text{ dyn} = 998,97 \text{ KN} < 80\% V_{MSE} \quad \rightarrow \text{n'est pas vérifier}$$

II.4.5.4. Vérification Art 5.10 RPA 2003 :

Étages	Δx (cm)	Δy (cm)
1	0,1	0,1
2	0,4	0,4
3	0,8	0,8
4	0,4	0,4
5	0,4	0,4
6	0,5	0,5

Tableau II.18 : Déplacements inter-étages

II.4.5.5. Justification de l'interaction portiques-voiles (Art 3.4 RPA 2003) :

Répartition de charges verticales P :

Etage	P(KN)	P repris par les Voiles (%)	P repris par les Portiques (%)
Etage 1	28 671,75	34,99	65,01
Etage 2	20 711,25	35,56	64,44
Etage 3	14 022,00	36,07	63,93
Etage 4	8 604,00	36,46	63,54
Etage 5	4 457,25	36,72	63,28
Etage 6	1 581,75	36,07	63,93
Moyenne		35,98	64,02

Tableau II.19 : Pourcentage des efforts verticaux repris par voiles et les portiques

Répartition des charges horizontales (V_x , V_y):

Etage	V_x repris par		V_y repris par	
	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)
Etage 1	88,31	11,69	88,31	11,69
Etage 2	82,44	17,56	82,44	17,56
Etage 3	75,79	24,21	75,79	24,21
Etage 4	69,46	30,54	69,46	30,54
Etage 5	61,70	38,30	61,70	38,30
Etage 6	32,62	67,38	32,62	67,38
Moyenne	68,39	31,61	68,39	31,61

Tableau II.20 : Pourcentage des efforts horizontaux repris par les voiles et les portiques.

Etude de la variante 6

II.4.6. Etude de la variante 6:

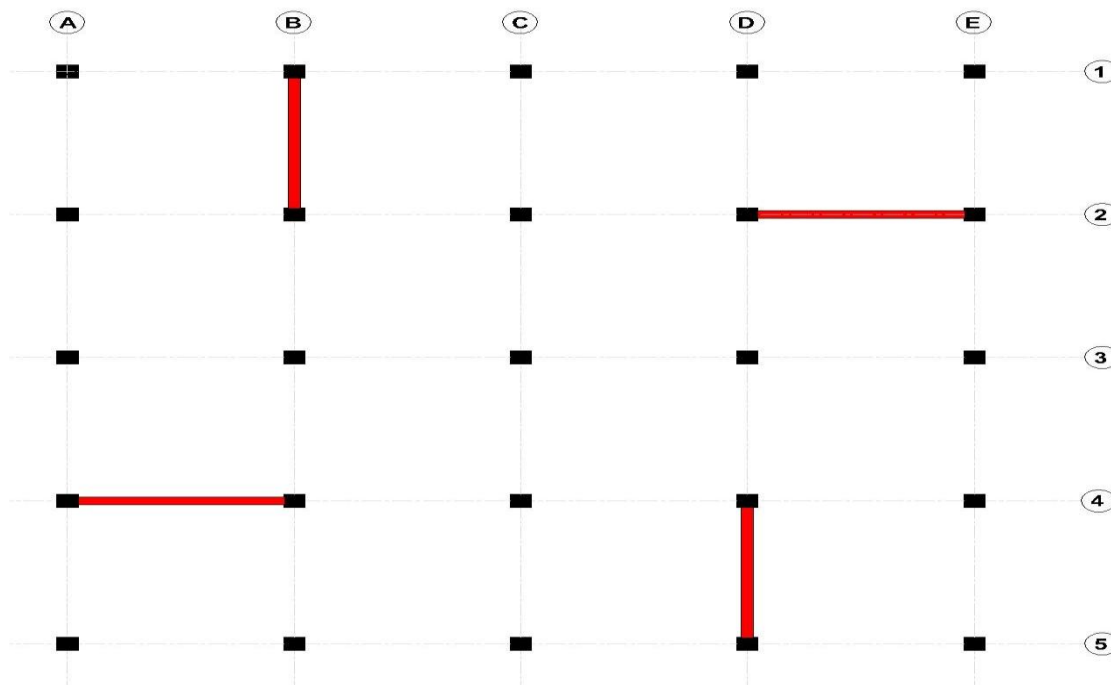


Figure II.8 : Configuration en plan de la variante 6.

II.4.6.1 Vérification du comportement dynamique :

Mode	Période (S)	Masses cumulées UX (%)	Masses cumulées UY (%)	Masses modale UX (%)	Masses modale UY (%)	Tot.masse UX,UY (t)	Nature
1	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	1794,88	/
2	0,42	9,49	61,39	9,49	61,39	1794,88	/
3	0,42	70,88	70,88	61,40	9,49	1794,88	/
4	0,12	70,88	70,88	0,00	0,00	1794,88	/
5	0,10	70,89	89,03	0,00	18,15	1794,88	/
6	0,10	89,03	89,03	18,15	0,00	1794,88	/
7	0,06	89,03	89,03	0,00	0,00	1794,88	/
8	0,05	89,04	95,04	0,00	6,01	1794,88	/
9	0,05	95,05	95,04	6,01	0,00	1794,88	/
10	0,04	95,05	95,04	0,00	0,00	1794,88	/

Tableau II.21 : Mode propre de la variante 6

II.4.6.2- Vérification Art 4.3.4 RPA 2003 :

Direction xx : 10 modes (**95,05%** de la masse sismique de la structure)

Direction yy : 10 modes (**95,04%** de la masse sismique de la structure)

II.4.5.3 Vérification Art 4.3.6 RPA 2003 :

- **Efforts tranchants (analyse modale spectrale) :**

$$V_x = 1331,30 \text{ KN.}$$

$$V_y = 1331,21 \text{ KN.}$$

- **Efforts tranchant méthode statique équivalente (RPA 2003):**

D'après RPA 99/2003, la force sismique est :

$$V_{MSE} = 1634,28 \text{ KN}$$

$$80\% V_{MSE} = 0,80 \times 1634,28 = 1307,42 \text{ KN}$$

$$V_x \text{ dyn} = 1331,30 \text{ KN} < 80\% V_{MSE}$$

$$V_y \text{ dyn} = 1331,21 \text{ KN} < 80\% V_{MSE}$$

II.4.6.4. Vérification Art 5.10 RPA 2003 :

Étages	Δx (cm)	Δy (cm)
1	0,2	0,2
2	0,7	0,7
3	0,5	0,5
4	0,6	0,6
5	0,6	0,6
6	0,6	0,6

Tableau II.22 : Déplacements inter-étages

II.4.6.5. Justification de l'interaction portiques-voiles (Art 3.4 RPA 2003) :

Répartition de charges verticales P :

Etage	P(KN)	P repris par les Voiles (%)	P repris par les Portiques (%)
Etage 1	28 671,75	40,12	59,88
Etage 2	20 711,25	40,83	59,17
Etage 3	14 022,00	41,19	58,81
Etage 4	8 604,00	41,55	58,45
Etage 5	4 457,25	42,00	58,00
Etage 6	1 581,75	41,99	58,01
	Moyenne	41,28	58,72

Tableau II.23 : Pourcentage des efforts verticaux repris par voiles et les portiques

Répartition des charges horizontales (V_x , V_y):

Etage	V_x repris par		V_y repris par	
	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)
Etage 1	88,66	11,34	88,66	11,34
Etage 2	83,53	16,47	83,53	16,47
Etage 3	77,59	22,41	77,59	22,41
Etage 4	72,24	27,76	72,23	27,77
Etage 5	65,93	34,07	65,92	34,08
Etage 6	41,00	59,00	40,99	59,01
Moyenne	71,49	28,51	71,49	28,51

Tableau II.24 : Pourcentage des efforts horizontaux repris par les voiles et les portiques.

II.5. Tableau récapitulatif des résultats de calcul des variantes:

		Variante 01	Variante 02	Variante 03	Variante 04	Variante 05	Variante 06	
Participation de masse	masse U _x %	95,00	94,87	95,04	95,17	91,30	95,05	
	masse U _y %	94,96	94,76	95,12	95,17	93,69	95,04	
Période (sec)		0,49	0,46	0,49	0,47	0,46	0,46	
Masse modale %	1 ^{er} mode	U _x	61,75	0,72	67,48	0,28	0,00	0,00
		U _y	8,25	67,98	2,57	70,07	0,00	0,00
	2 ^{eme} mode	U _x	8,25	69,31	2,60	70,07	33,07	9,49
		U _y	61,73	0,84	67,58	0,28	37,35	61,39
	3 ^{eme} mode	U _x	0,00	0,31	0,00	0,00	37,35	61,40
		U _y	0,00	1,06	0,00	0,00	33,07	9,49
	4 ^{eme} mode	U _x	17,26	0,05	19,04	0,00	0,00	0,00
		U _y	1,83	18,81	0,01	18,73	0,00	0,00
	5 ^{eme} mode	U _x	1,83	18,51	0,01	18,73	7,91	0,00
		U _y	17,27	0,05	18,91	0,00	11,08	18,15
	6 ^{eme} mode	U _x	0,00	0,02	0,00	0,00	11,08	18,15
		U _y	0,00	0,20	0,00	0,00	7,91	0,00
	7 ^{eme} mode	U _x	5,22	0,08	5,88	0,00	0,00	0,00
		U _y	0,67	5,74	0,02	6,09	0,00	0,00
	8 ^{eme} mode	U _x	0,68	5,87	0,02	6,09	1,89	0,00
		U _y	5,21	0,08	6,03	0,00	4,28	6,01
	9 ^{eme} mode	U _x	1,82	0,03	2,11	0,00	4,28	6,01
		U _y	0,28	2,04	0,00	2,30	1,89	0,00
	10 ^{eme} mode	U _x	0,29	0,07	0,00	2,30	0,00	0,00
		U _y	1,80	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Déplacement	Δx (cm)	1,0	0,5	0,9	1,2	0,8	0,7	
	Δy (cm)	1,0	0,8	1,0	1,4	0,8	0,7	
Répartition des charges horizontales voile-portique	Sens X	Voile %	65,99	69,15	74,50	67,59	68,39	71,49
		Portique %	34,01	30,85	25,50	32,41	31,61	28,51
	Sens Y	Voile %	66,02	67,03	70,61	69,61	68,39	71,49
		Portique %	33,98	32,97	29,39	30,39	31,61	28,51
Répartition Des charges Verticale	Voile %	20,20	29,96	28,98	26,84	35,98	41,28	
	Portique %	79,80	70,04	71,02	73,16	64,02	58,72	
Forces sismiques à la base Vt	Sens X	1445,04	1409,72	1458,45	1331,12	998,97	1331,30	
	Sens-Y	1469,21	1589,35	1459,28	1331,85	998,97	1331,21	

Tableau II 25: récapitulatif des résultats de calcul des variantes

II.6 Analyse des résultats étude des variantes :

II.6.1.Participation des masses:

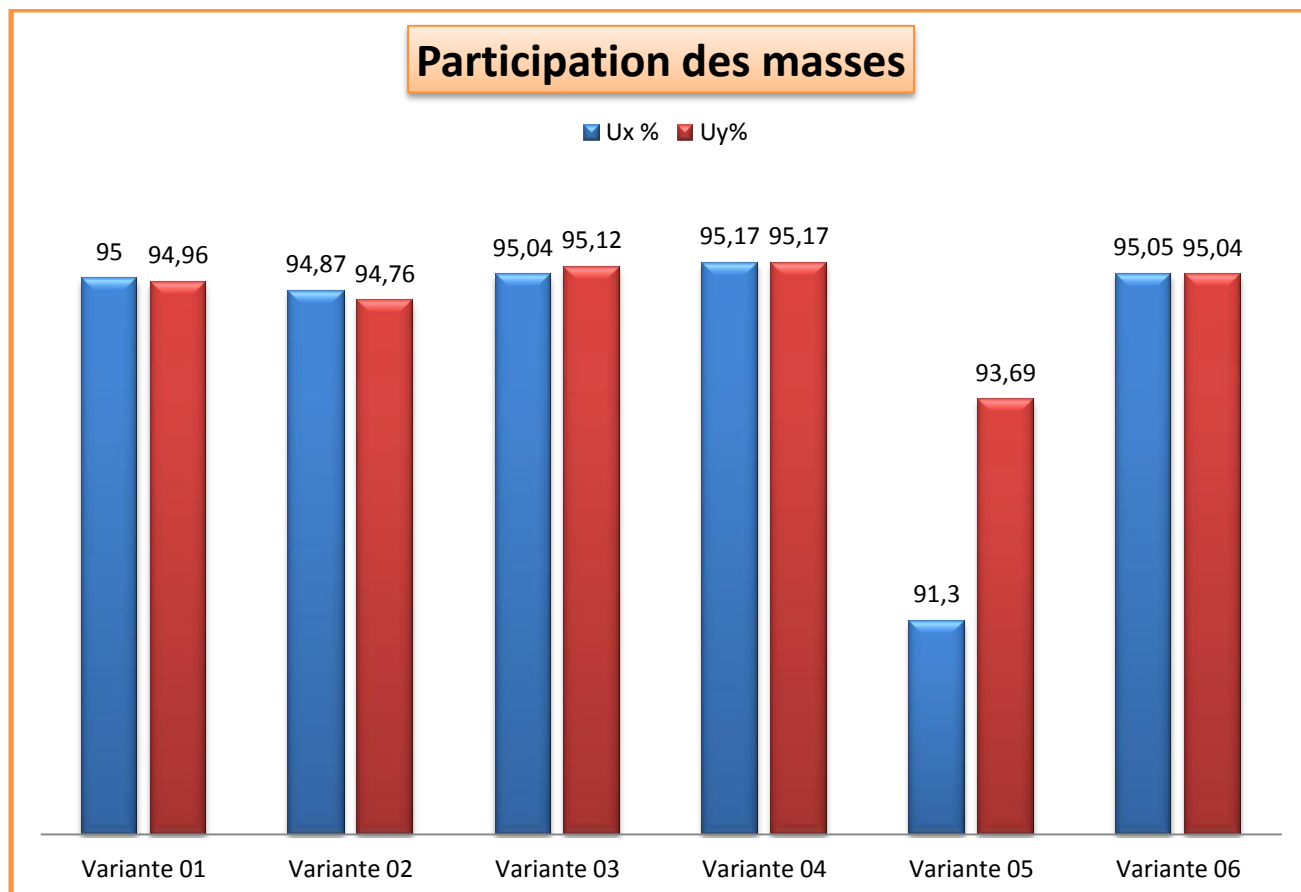


Figure II.9 : Histogramme participation des masses

Vérification Art 4.3.4 RPA 99 version 2003:

Le nombre de modes de vibration à retenir dans chacune des deux directions d'excitation doit être tel que :

La somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à au moins à 90 % de la masse totale de la structure.

Direction xx : 10modes (% de la masse sismique de la structure)

Direction yy : 10modes (% de la masse sismique de la structure)

II.6.2.Période :

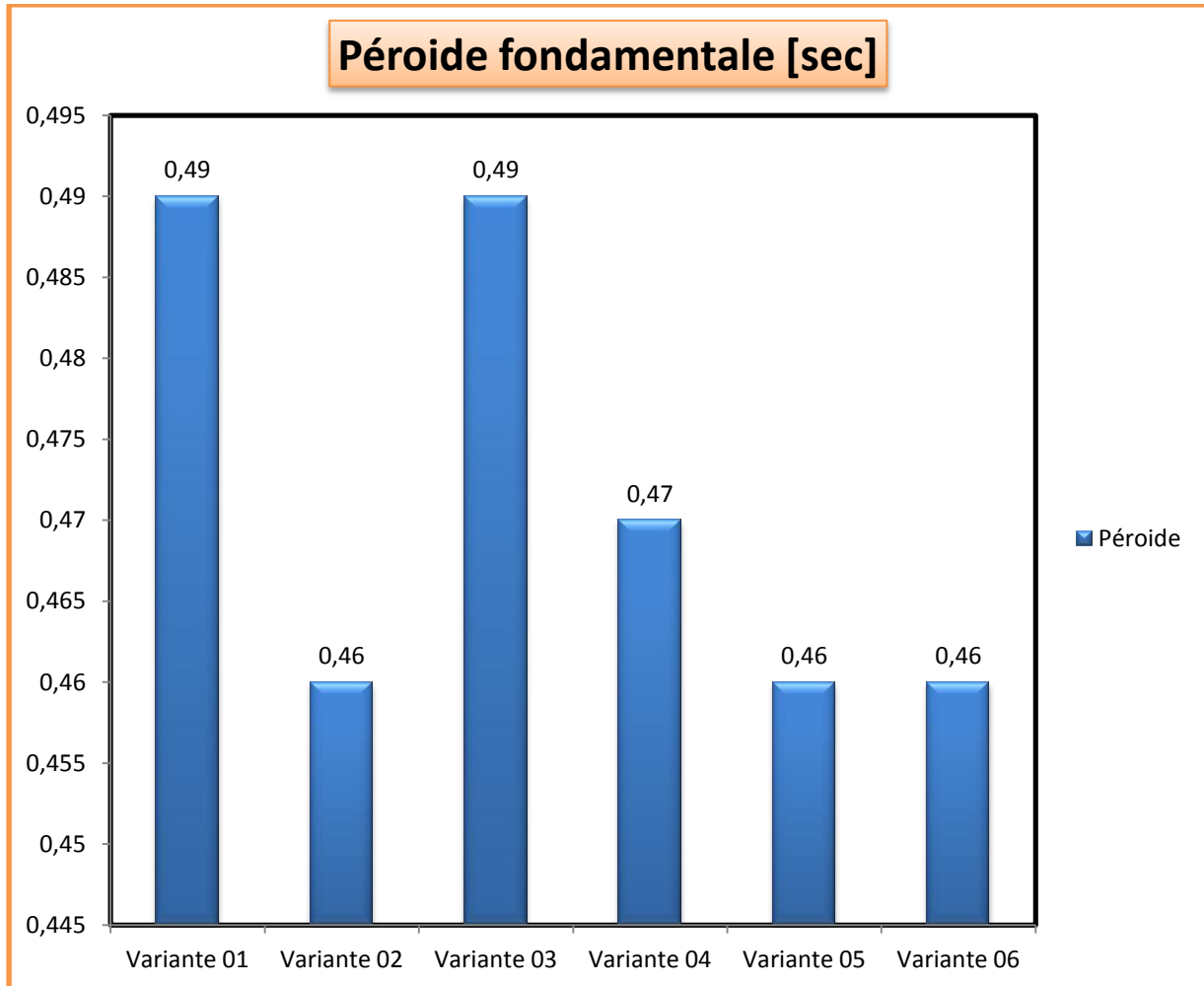


Figure II.10 : Histogramme période fondamentale (sec)

Vérification Art 4.2.4.4 RPA 99 version 2003:

1. Les variantes 01 et 03 ont une période de 0,49 s soit un dépassement de 11,36%
2. La variante 04 a une période de 0,47 s soit un dépassement de 6,8%
3. Les variantes 02 , 05 et 06 ont une période de 0,46 S soit un dépassement de 4,5 %

Les valeurs de T, calculées à partir méthodes numériques ne doivent pas dépasser celles estimées à partir des formules empiriques appropriées de plus de 30%.

II.6.3. Vérification du comportement dynamique :

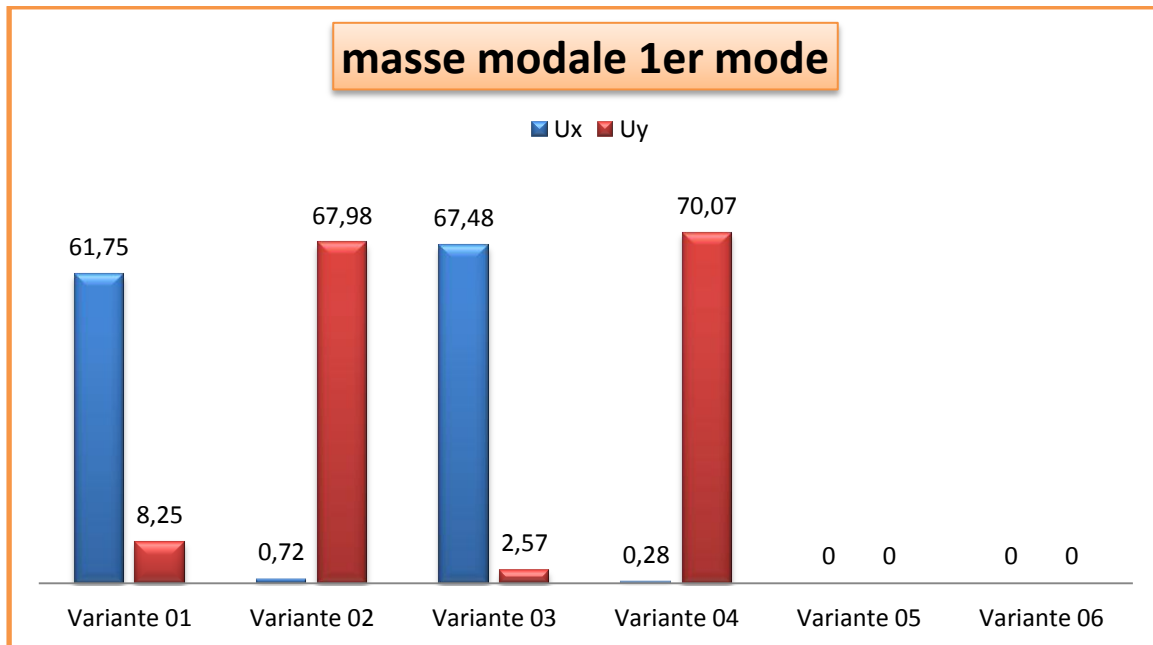


Figure II.11 : Histogramme masse modale 1^{er} mode

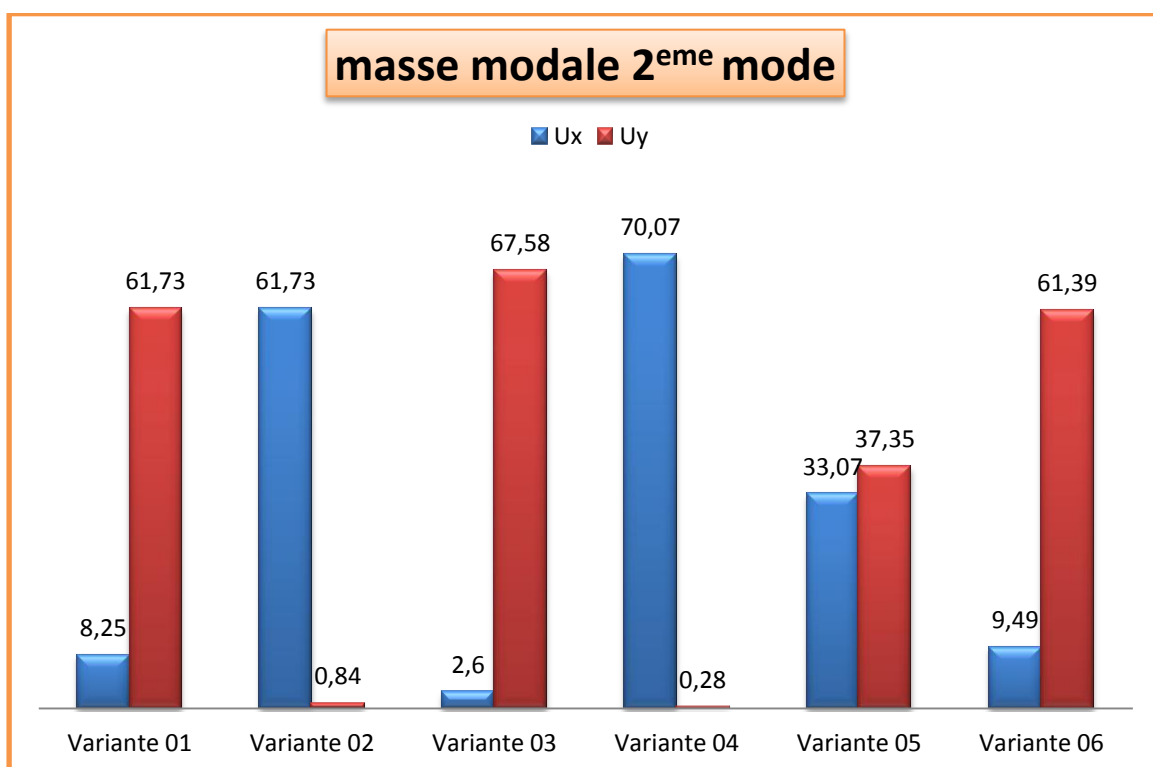


Figure II.12 : Histogramme masse modale 2^{eme} mode

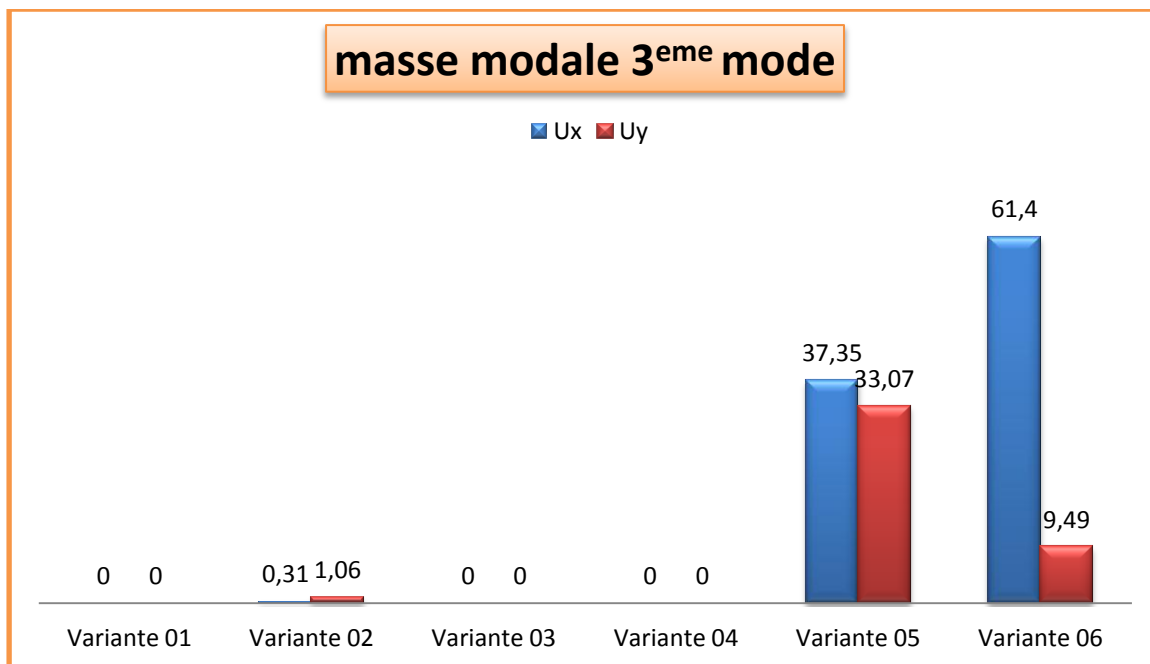


Figure II.13: Histogramme masse modale 3^{ème} mode

Pour 1^{er} mode les variantes 01, 02, 03, 04 et 2^{ème} mode aucune effet de torsion, aussi que variante 05 et 06 ont été exposés à la torsion au 1^{er} mode.

II.6.4. Déplacement max de chaque variante :

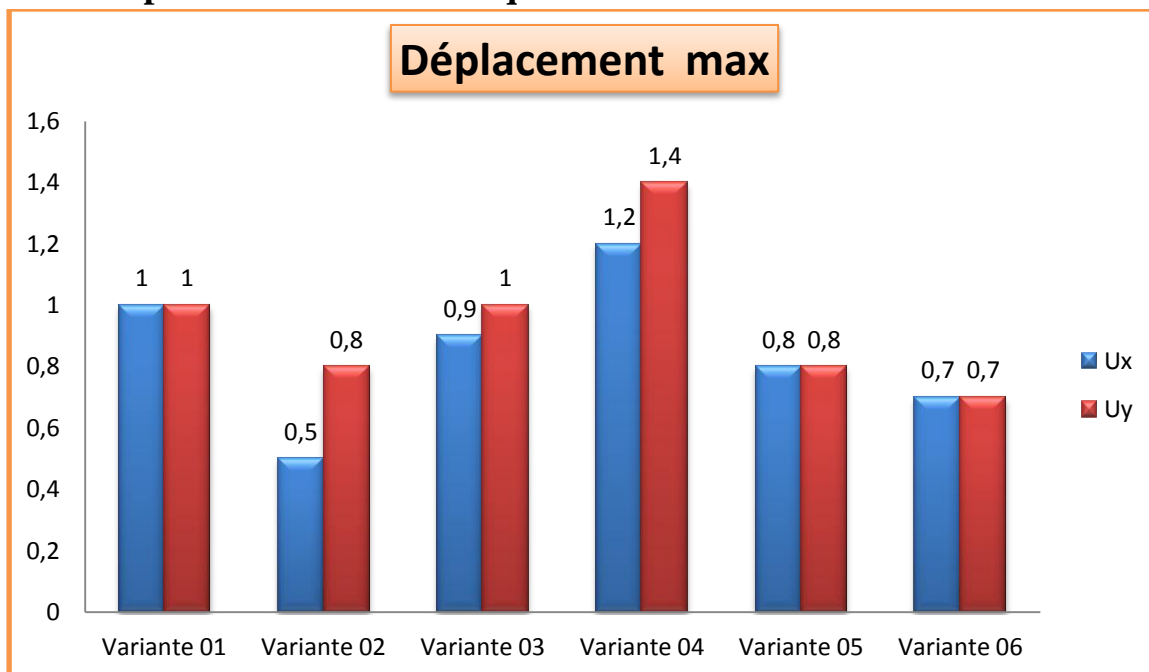


Figure II.14: Histogramme de déplacement max

Vérification Art 5.10 RPA 99 version 2003:

Les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents ne doivent pas dépasser **1.0%** de la hauteur de l'étage.

Toutes les variantes vérifiées cette condition.

II.6.5. Répartition des charges horizontales entre voiles et portiques:

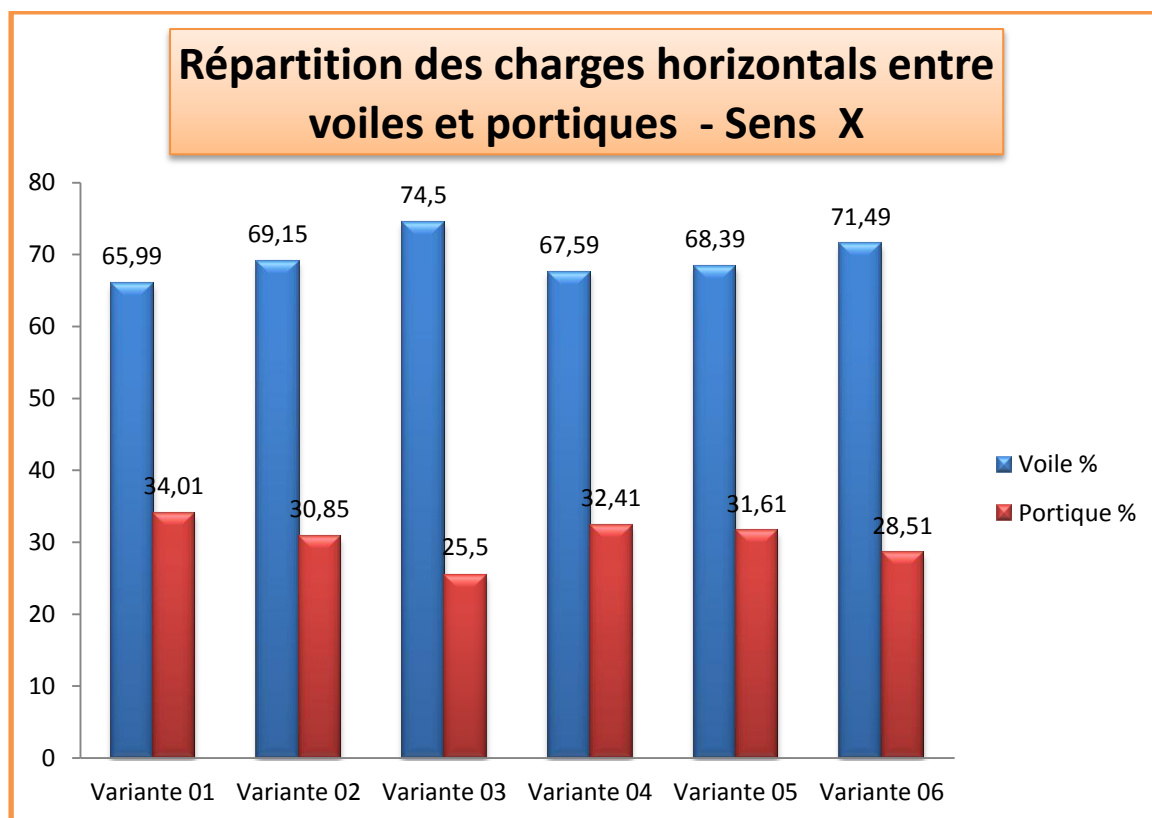


Figure II.15: Histogramme répartition des charges horizontale entre voile et portique –Sens X

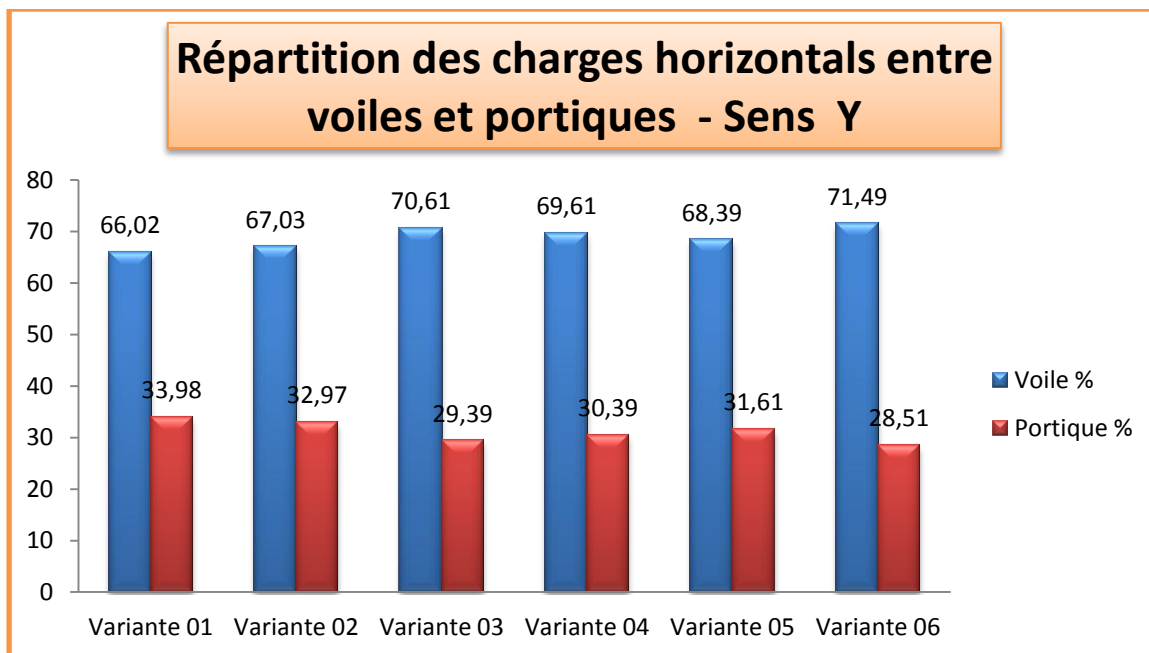


Figure II.16: Histogramme répartition des charges horizontale entre voile et portique –Sens Y

II.6.6. Répartition des charges verticales:

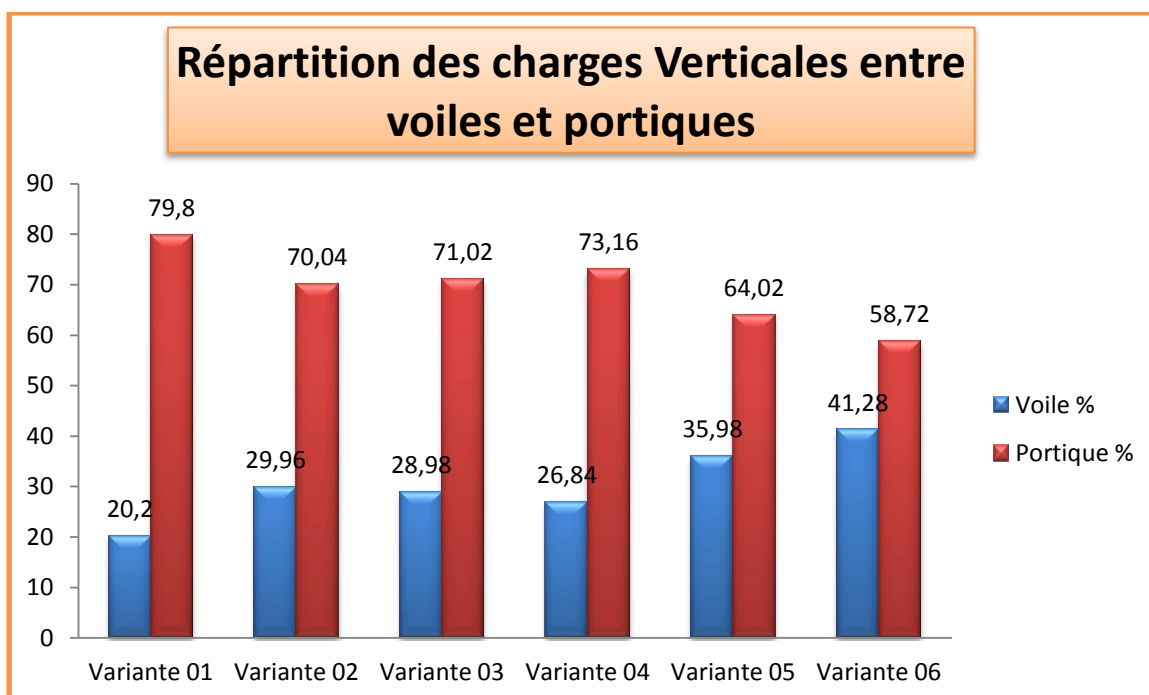


Figure II.17: Histogramme répartition des charges Verticale entre voile et portique

II.7. Conclusion :

Dans cette partie, nous avons présenté notre structure d'origine dans le plan architectural ainsi que dans le plan structural.

Pour la même structure nous avons choisi des différentes variantes, des dispositions des voiles, ce choix a été justifié et fait d'une façon arbitraire d'où on a pu effectuer des différentes vérifications stipulées dans les règles parasismique algérienne RPA 99/2003 [9].

D'après l'analyse modale de la structure avec différentes variantes de disposition des voiles, nous inscrirons les varié résultats mode propre [tableaux II.1, II.5, II.9, II.13, II.17 et II.21] justifie les exigences du RPA 99/2003 tel que art 4.3.4.

La résultante des forces sismiques a la base obtenue par combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à **80 %** de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule empirique appropriée **Sauf** la variante 05 n'est pas vérifier.

Les déplacements latéraux d'un étage par rapport à l'étage qui lui est adjacent ne doivent pas dépasser **1.0 %** de la hauteur de l'étage (3.06m) [tableaux II.2, II.6, II.10, II.14, II.18 et II.22].

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

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

Les charges horizontales sont reprises conjointement par les voiles et les portiques proportionnellement à leurs rigidités relatives.

PARTIE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

III.1.Introduction :

Cette partie consiste à présenter tous les résultats obtenue et la vérification des critères de comparaison proposée et leur interprétation.

III.2.Nécessité d'ajout de voile :

Les voiles sont des éléments verticaux qui présentent une grande rigidité et grande résistance vis-à-vis des forces horizontaux.

C'est dans ce contexte qu'on va présenter la nécessité de l'ajout de voile dans notre structure avec :

La comparaison entre les déplacements absolus et la période de la variante 1 (d'origine) et la variante témoin (sans voile)

III.2.1.Présentation de la variante Témoin :

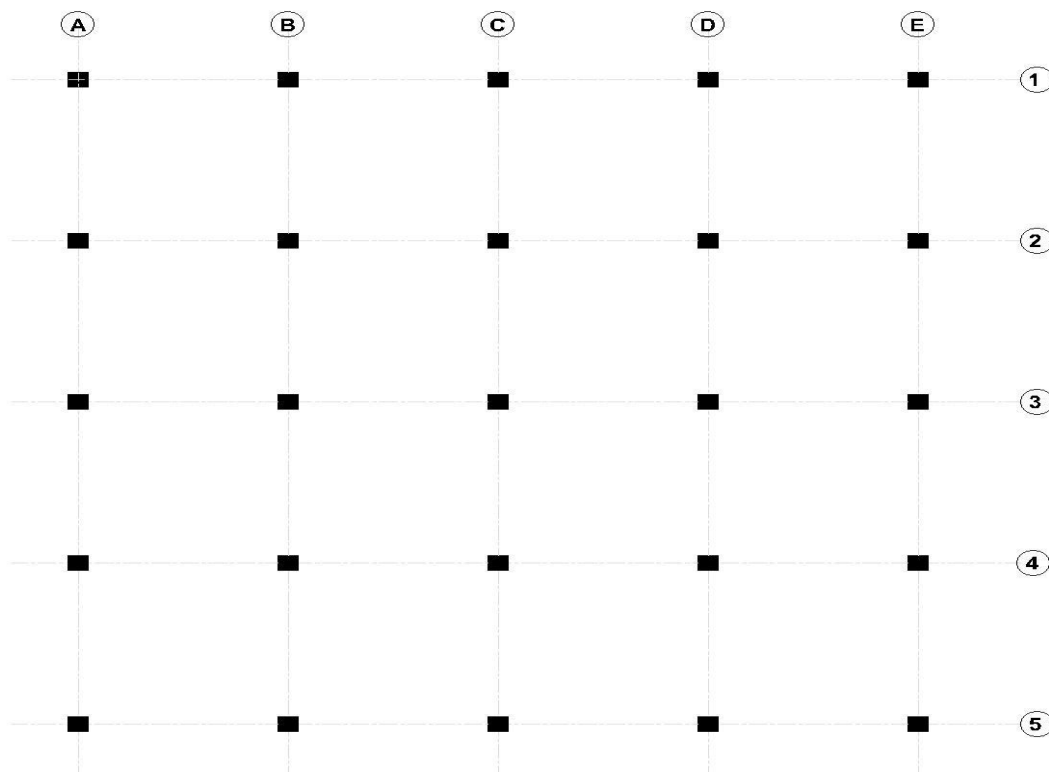


Figure III.1: Vue en plan de la variante Témoin (sans voile)

III.2.1.1. Vérification du comportement dynamique de la variante témoin (sans voile) :

Mode	Période (S)	Masses cumulées UX (%)	Masses cumulées UY (%)	Masses modale UX (%)	Masses modale UY (%)	Tot.masse UX,UY (t)	Nature
1	0,97	29,65	53,66	29,65	53,66	1834,35	/
2	0,97	83,31	83,31	53,66	29,65	1834,35	/
3	0,84	83,31	83,31	0,00	0,00	1834,35	/
4	0,32	83,55	93,03	0,23	9,72	1834,35	/
5	0,32	93,26	93,26	9,72	0,23	1834,35	/
6	0,28	93,26	93,26	0,00	0,00	1834,35	/
7	0,18	93,27	96,81	0,01	3,54	1834,35	/
8	0,18	96,81	96,81	3,54	0,01	1834,35	/
9	0,16	96,81	96,81	0,00	0,00	1834,35	/
10	0,13	96,81	98,51	0,00	1,70	1834,35	/

Tableau III.1 : Comportement dynamique de la structure sans voile

Direction xx : 10 modes (**93,26%** de la masse sismique de la structure)

Direction yy : 10 modes (**93,26%** de la masse sismique de la structure)

Donc, l'article 4.3.4 du RPA est vérifié.

III.2.2. Déplacement absolue d'une structure témoin :

Les déplacements absolus sont calculés avec logiciel RSA , aux noeud maitres sous les deux combinaisons accidentelles :

G+Q+1.2Ex

G+Q+1.2Ey

III.2.2.1. Déplacement absolu de la variante témoin :

Etages	Déplacement absolu maximum (cm)	
	Δx (cm)	Δy (cm)
1	1,4	1,4
2	3,2	1,4
3	3,2	3,2
4	6,2	6,2
5	7,2	7,2
6	7,2	7,2

Tableau III.2 : Déplacement absolu de la structure sans voile

III.2.2.2. Déplacement absolu de la variante 1 :

Etages	Déplacement absolu maximum (cm)	
	Δx (cm)	Δy (cm)
1	0,3	0,3
2	1,0	1,0
3	0,8	0,8
4	1,0	1,0
5	0,9	0,9
6	0,9	0,9

Tableau III.3 : Déplacement absolu de la variante 1

D'après ces résultats, on remarque que les déplacements de la structure sans voile (témoin) sont très grands par rapport à la structure d'origine.

Le déplacement au sommet du bâtiment (de l'ordre 1 à 7) ce qui nous oblige d'ajouter des voiles au système de contreventement pour diminuer les déplacements que subit la structure en cas de séisme.

III.2.3.Vérification de la période propre :

D'après la méthode statique équivalente :

$$T=C_t.h^{3/4}$$

Variante	C_t	$T_{\text{statique}} (S)$	$T_{\text{dynamique}} (S)$
Variante témoin (sans voile)	0,075	0,66	0,97
Variante 1 (d'origine)	0,050	0,44	0,49

Tableau III.4 : Vérification de la période propre entre la variante témoin et variante d'origine

Suite aux résultats du tableau III.4 la période de la structure sans voile est supérieure par rapport à la valeur de la période de la structure d'origine.

Ainsi que la période dynamique de la structure témoin a un dépassement de plus 30% à la période statique. (**Art 4.2.4.4RPA99 v2003**)

III.3.Résultats d'étude des différentes variantes :

En examinant les résultats obtenus de notre étude que nous avons exposé dans la partie II , ainsi que la vérification des articles dans les règles parasismique algérienne RPA 99/2003 [9] ,et pour ce qui est présentation des résultats nous avons le plan suivant :

- récapitulatif des résultats de calcul des différentes variantes.
- Comparaison des différentes variantes selon le premier critère (déplacement inter-étage).
- Comparaison des différentes dispositions selon le second critère (force sismique).
- Comparaison des différentes variantes selon le troisième critère (pourcentage des efforts horizontaux repris par voile).

Après l'analyse de ces comparaisons, on peut conclure la variante la plus **performante** en chargement sismique.

Une analyse comparative supplémentaire, sera introduite à la fin de cette partie pour évaluer l'influence du nombre de voile à introduire dans notre variante **optimale**, en se référant au critère de comparaison le plus **déterminant**.

			Variante 01		Variante 02		Variante 03		Variante 04		Variante 05		Variante 06	
Déplacement (cm)			0,3	0,3	0,0	0,0	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
			1,0	1,0	0,1	0,1	0,9	0,9	0,7	0,1	0,4	0,4	0,7	0,7
			0,8	0,8	0,1	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,8	0,8	0,5	0,5
			1,0	1,0	0,2	0,4	0,9	0,8	1,2	0,1	0,4	0,4	0,6	0,6
			0,9	0,9	0,3	0,5	1,0	0,9	0,9	1,4	0,4	0,4	0,6	0,6
			0,9	0,9	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	1,3	0,5	0,5	0,6	0,6
			0,3	0,3	0,0	0,0	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
D max (ASCE-41) (cm)			1,04		0,81		1,03		1,44		0,83		0,73	
Répartition des charges horizontales voile	Sens X	Voile %	65,99		69,15		74,50		67,59		68,39		71,49	
	Sens-Y	Voile %	66,02		67,03		70,61		69,61		68,39		71,49	
Forces sismiques à la base Vt	Sens X		1445,04		1409,72		1458,45		1331,12		998,97		1331,30	
	Sens-Y		1469,21		1589,35		1459,28		1331,85		998,97		1331,21	

Tableau III.5: Récapitulatif des résultats de calcul des variantes

III.4. Comparaison des résultats des diverses variantes suivant les différents critères:

Dans cette étape, on va faire la comparaison entre les six variantes, correspondants à des dispositions de voiles appropriés, avec les différents critères suivant :

III.4.1. Critère de comparaison 1 : Déplacement inter étages

Pour la vérification de ce critère et à l'aide du logiciel ROBOT, on a obtenu les déplacements inter étages de chacune des variantes étudiées.

Les déplacements maximaux des six variantes, sont présentés comme suit :

Variante	ΔX_{max} (cm)	ΔY_{max} (cm)	D_{max} (cm)
Variante 1 (origine)	1,0	1,0	1,04
Variante 2	0,5	0,8	0,81
Variante 3	1,0	0,9	1,03
Variante 4	0,9	1,4	1,44
Variante 5	0,8	0,8	0,83
Variante 6	0,7	0,7	0,73

Tableau III.6 : Déplacement inter étages de différentes variantes

- On représente les résultats du tableau III.6, sous forme d'histogramme suivant :

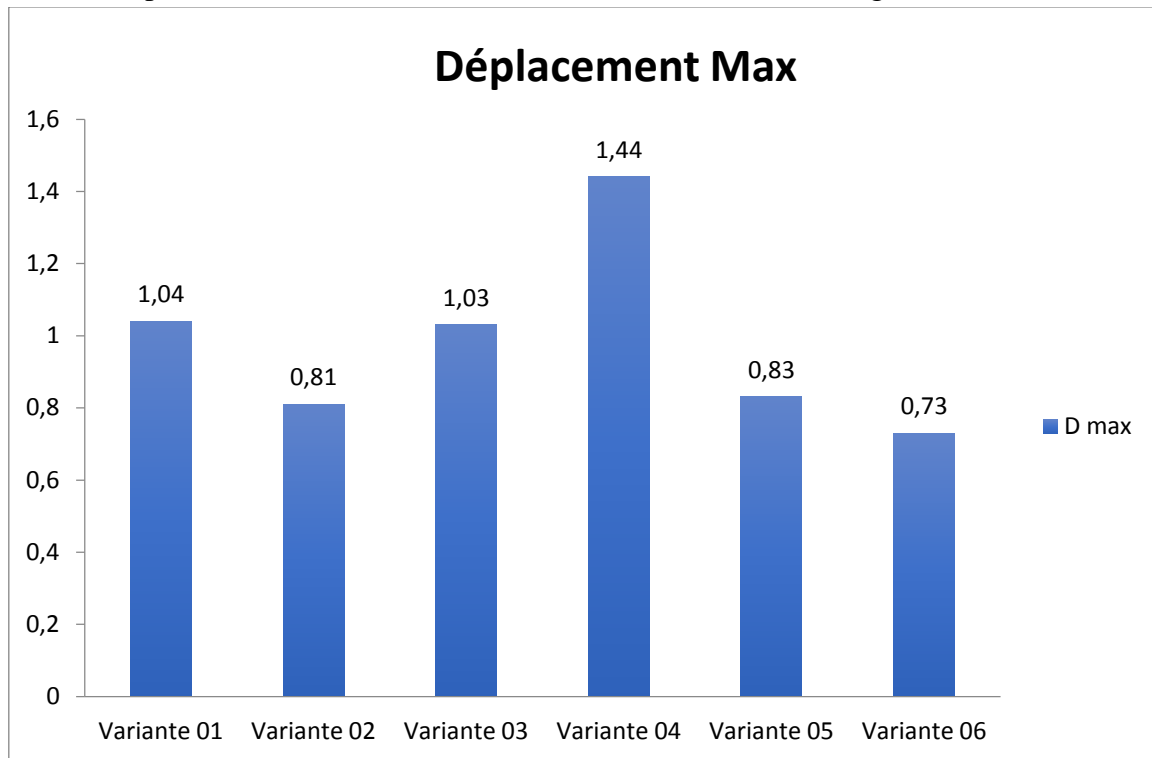


Figure III.2: Histogramme des déplacements inter étages de différentes variantes

III.4.1.1. Analyse des résultats du critère de comparaison 1 :

- Suite aux ces résultats, on remarque que les déplacements des variantes 2 ,5 et 6 sont inférieur par rapport aux déplacements des autres variantes.
- Les autres valeurs de déplacements sont peu plus que la variante 6, donc ce dernier on considère comme variante comparative par rapport les autres.
- Alors, le déplacement est un critère de comparaison.

III.4.2. Critère de comparaison 2 :

Détermination des forces sismique des différentes variantes :

Pour la vérification de ce critère on a calculé l'effort sismique par les deux méthodes : Statique équivalente et dynamique (d'après les résultats de logiciel ROBOT) dans les deux sens X,Y de chaque variante proposées on basant sur l'articles 4.3.6 du RPA99/vers2003, qui exige que l'effort sismique obtenue par la méthode dynamique doit être supérieur à 80 % de l'effort sismique déterminé par la méthode statique équivalente .

Les résultats de calcul des différentes variantes sont regroupés dans le tableau suivant :

Variante	V_{MSE} [KN]	$V_{x_{dynamique}}$ [KN]	$V_{y_{dynamique}}$ [KN]
Variante 1 (origine)	1634,28	1445,04	1469,21
Variante 2	1634,28	1409,72	1589,35
Variante 3	1634,28	1458,45	1459,28
Variante 4	1634,28	1331,12	1331,85
Variante 5	1634,28	998,97	998,97
Variante 6	1634,28	1331,30	1331,21

Tableau III.7 : Valeurs de l'effort tranchant sismique des différentes variantes

III.4.2.1 Analyse des résultats :

- Suite au tableau III.7 on a inscrit que les variantes 1 et 3 ont des forces sismique selon l'axe X et l'axe Y assez proche.
- La variante 5 a une force sismique le moins valeur.
- La variante 3 la plus grande valeur de l'effort sismique dans les deux directions.
- Les résultats obtenus par le calcul des forces sismiques à la base des différentes variantes sont représenté par l'histogramme suivant :

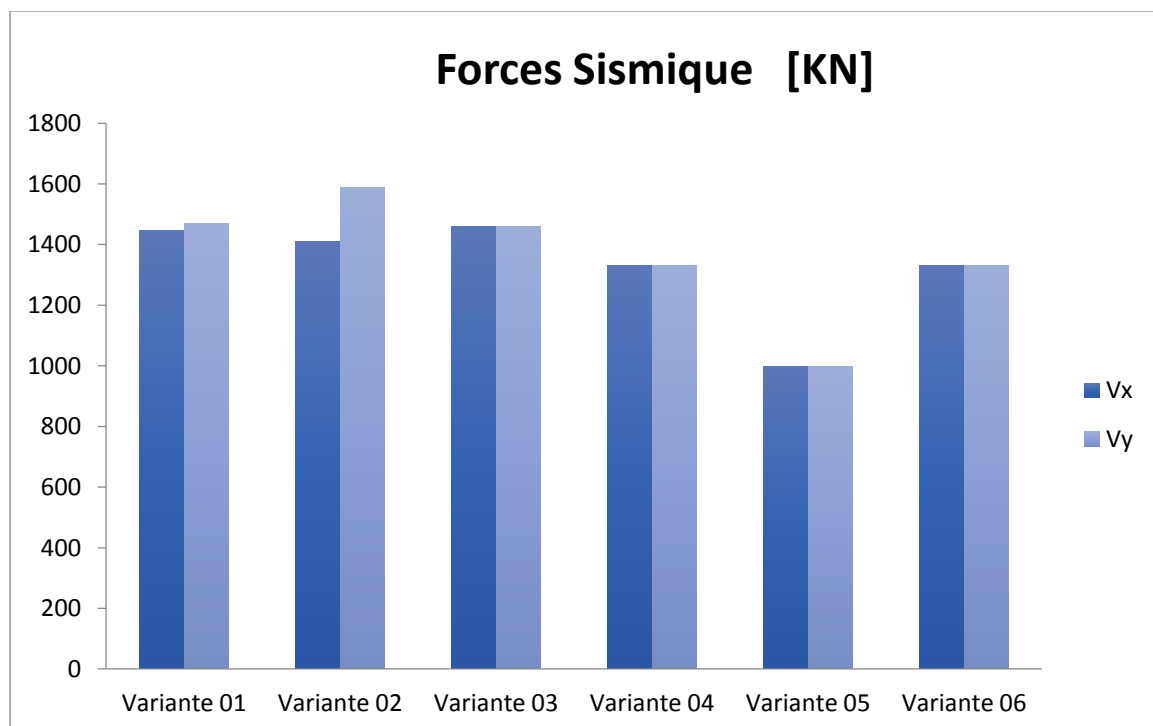


Figure III.3: Histogramme des forces sismique des différentes variantes

- Ce critère de comparaison donne la variante 3 comme celle qui reprend les plus grandes valeurs de l'effort tranchant au bas dans les deux sens,
- Mais ceci reste insuffisant sans faire intervenir le critère de répartition des charges horizontaux conformément au RPA2003 ((%) des efforts repris par les portiques et les voiles), ce dernier critère nous donne la répartition de cette force sismique sur les voiles et les portiques, ce qui dénoté sa propriété décisive, en terme de comparaison.

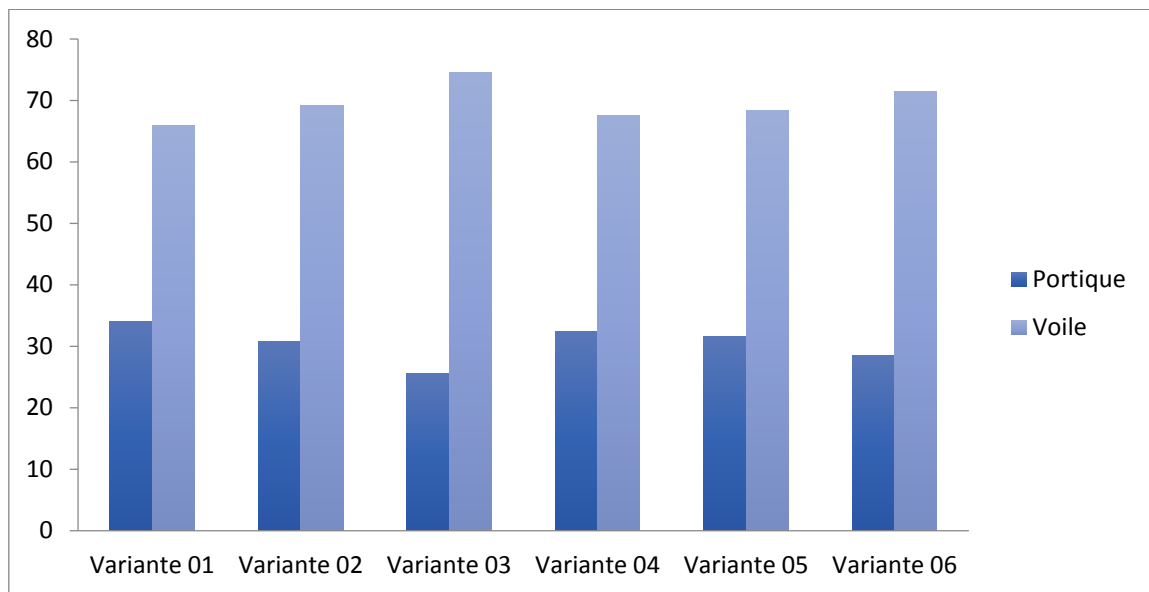
III.4.3.Critère de comparaison 3 :

Répartition des efforts sismiques horizontaux repris par les portiques et les voiles :

Après la vérification que les portique des six variantes reprennent au moins 25% de l'effort tranchant (d'après l'article 3.4 de l'RPA 99/2003) , on a regroupé les résultats de calcul obtenus précédemment (sens X) dans le tableau suivant :

Variantes	Vx repris par les portiques (%)	Vx repris par les voiles (%)
Variante 1 (origine)	34,01	65,99
Variante 2	30,85	69,15
Variante 3	25,50	74,50
Variante 4	32,41	67,59
Variante 5	31,61	68,39
Variante 6	28,51	71,49

**Tableau III.8 : Répartition de l'effort sismique des différentes variantes
Sens -X**

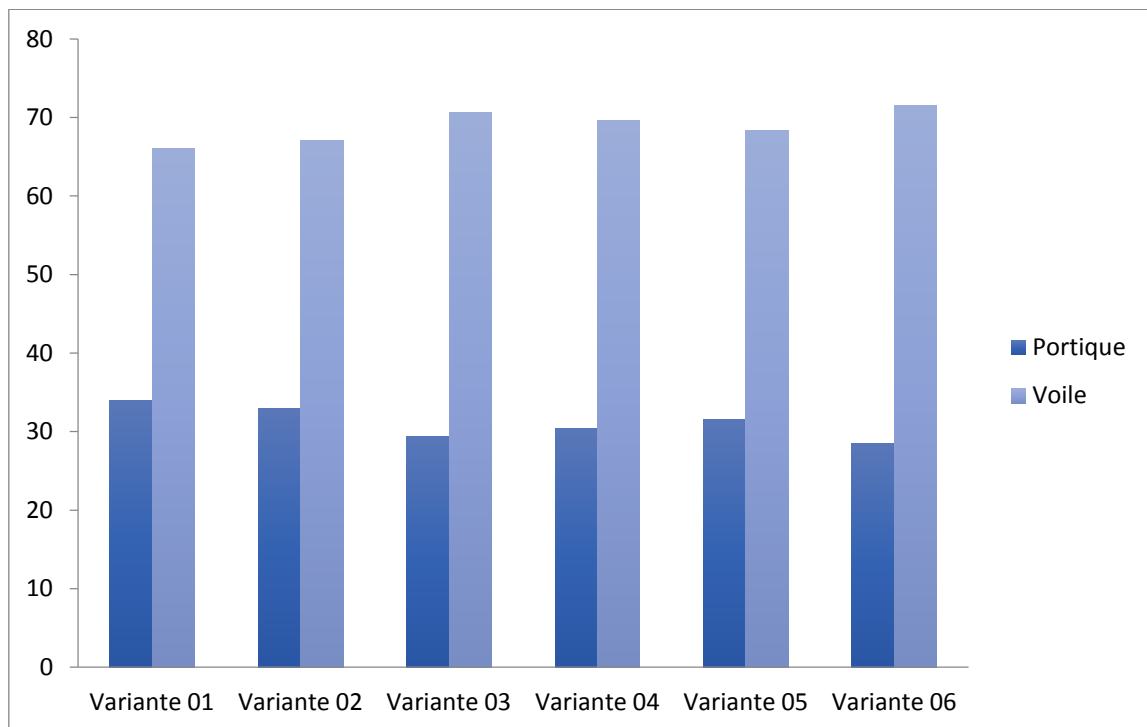


**Figure III.4 : Répartition de l'effort sismique des différentes variantes
Sens -X**

Après la vérification que les portique des six variantes reprennent au moins 25% de l'effort tranchant (d'après l'article 3.4 de l'RPA 99/2003), on a regroupé les résultats de calcul obtenus précédemment (sens Y) dans le tableau suivant :

Variantes	Vy repris par les portiques (%)	Vy repris par les voiles (%)
Variante 1 (origine)	33,98	66,02
Variante 2	32,97	67,03
Variante 3	29,39	70,61
Variante 4	30,39	69,61
Variante 5	31,61	68,39
Variante 6	28,51	71,49

Tableau III.9 : Répartition de l'effort sismique des différentes variantes Sens -Y



**Figure III.5 : Répartition de l'effort sismique des différentes variantes
Sens -Y**

III.4.3.1. Analyse des résultats du critère 3 et conclusion finale :

On remarque que l'optimisation de performance sismique des voiles (plus grand pourcentage des efforts horizontaux repris) sont ceux de la disposition de la variante 06 avec les voiles placés.

Selon ce critère 3 et conformément à l'article 3.4 de RPA 99/2003 le pourcentage des efforts sismiques repris respectivement par les voiles et les portiques doit être considéré comme un critère de comparaison prépondérant dans l'optique du choix de la disposition optimale.

Néanmoins, il ya lieu de noter que le choix de disposition optimal des voiles, a été fait uniquement sur la base d'une étude comparative des résultats numérique (des valeurs ou grandeurs numérique seulement), et aussi sur la base d'un comportement élastique des structures conforme aux hypothèses (ou à l'esprit même) du RPA2003, sans aucune considération au comportement non linéaire de la structure (seulement au niveau de la prise en compte du coefficient de comportement R qui introduit la notion inélastique).

La performance sismique de toute structure reste donc insuffisante vis-à-vis de l'étude du comportement dynamique réel qui lui doit tenir compte du comportement non linéaire prenant en compte : les mécanismes de ruine, la formation des rotules plastique et ainsi voir l'état de dégradation des éléments (problème d'endommagement).

-la prise en compte de ce dernier paramètre :de performance dynamique , pourra engager une réelle réflexion sur l'enrichissement du Règlement Parasismique Algérien concernant la conception des structures mixtes.

Une étude supplémentaire sera menée dans ce qui suit, sur la variante 6 optimale, sur l'influence du nombre de voiles à introduire, sur la performance sismique, en se référant uniquement au critère de comparaison le plus significatif (pourcentage des efforts reprise les voile et les portiques).

III.5. Etude de l'influence du nombre de voile sur la performance sismique d'une structure Le mixte :

Le nombre de voile dans une structure à contreventement mixtes joue un rôle très important dans le comportement et la performance sismique de cette dernière.

Parmi les trois critères de comparaison utilisée on a choisi le 3ème critère qui représente le pourcentage (%) des efforts sismique reprise par les voiles et les portiques.

Et pour montrer cette différence concernant l'influence du nombre de voile sur toute performance sismique :

On a choisi deux variantes : l'une contreventée par deux voiles ($2 < \text{Nombre de voiles de la variante 6} = 4$), et dont l'autre est contreventée avec huit ($8 > \text{Nombre de voiles de variante 6} = 4$) et dont l'étude suivant le critère 3 sera présentée ci-dessous .

III.5.1. Présentation de la variante avec 2 voiles :

- On a choisi une structure avec 2 voiles qui sont parallèles au sens x :

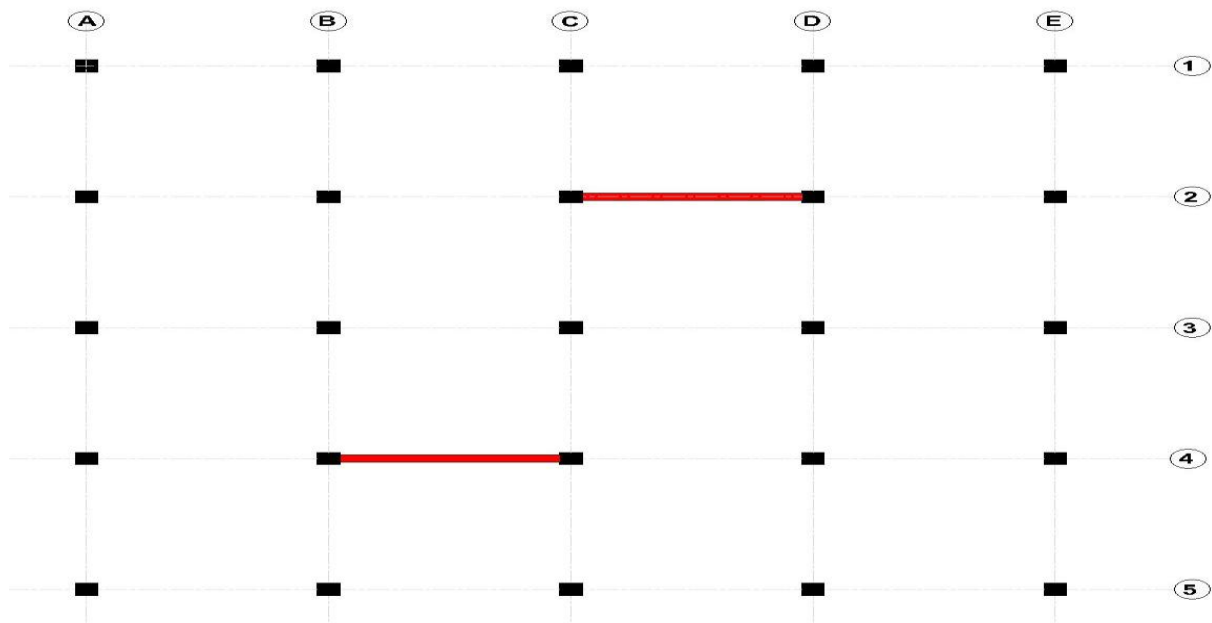


Figure III.6: Vue en plan de la variante avec deux voiles

III.5.2. Vérification du comportement dynamique de la structure mixte avec 2 voiles :

Mode	Période (S)	Masses cumulées UX (%)	Masses cumulées UY (%)	Masses modale UX (%)	Masses modale UY (%)	Tot.masse UX,UY (t)	Nature
1	1,02	0,00	82,45	0,00	82,45	1787,01	/
2	0,89	20,97	82,46	20,97	0,01	1787,01	/
3	0,54	75,48	82,46	54,51	0,00	1787,01	/
4	0,33	75,48	92,50	0,00	10,04	1787,01	/
5	0,26	76,82	92,50	1,34	0,00	1787,01	/
6	0,19	76,82	96,29	0,00	3,79	1787,01	/
7	0,15	80,21	96,29	3,39	0,00	1787,01	/
8	0,13	91,14	96,29	10,93	0,00	1787,01	/
9	0,13	91,14	98,23	0,00	1,95	1787,01	/
10	0,11	92,25	98,23	1,10	0,00	1787,01	/

Tableau III.10 : Comportement dynamique de la structure par 2 voile

Direction xx : 10 modes (**91,14%** de la masse sismique de la structure)

Direction yy : 10 modes (**96,29%** de la masse sismique de la structure)

⇒ Donc l'article 4.3.4 du RPA est vérifié

III.5.3. Répartition des efforts horizontaux pour structure avec 2 voiles :

Etage	V_x repris par		V_y repris par	
	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)
Etage 1	73,80	26,20	3,22	96,78
Etage 2	70,36	29,64	3,38	96,62
Etage 3	64,65	35,35	3,12	96,88
Etage 4	59,04	40,96	1,54	98,46
Etage 5	66,01	33,99	7,26	92,74
Etage 6	41,72	58,28	7,36	92,64
Moyenne	62,60	35,40	4,32	95,68

Tableau III.11 : Répartition des efforts horizontaux pour structure avec 2 voiles

Suite au résultat donné par analyse modale spectrale et conformément au recommandation de l'article 3.4 du RPA 99 /2003, on a remarqué que les portiques a une répartition de charge horizontale suivant X égale à 35,40% > 25% par contre suivant Y égale 4,32% < 25%.

Mais n'est pas vérifié dans le cas des voiles (rigidité insignifiantes en Y), ceci peut mener à la plastification des portiques dans le sens Y → chose à éviter.

Finalement, cette variante à deux voiles est à rejeter pour insuffisance dangereuse de contreventement des voiles vis-à-vis des charges horizontale dans l'un des deux sens « non conforme au RPA (4,32% < 75%) ».

Remarque : la même variante avec deux voiles placés dans la direction Y donnera lieu au même résultat avec changement des valeurs suivant l'emplacement des voiles.

III.5.4. Présentation de la variante avec 8 voiles :

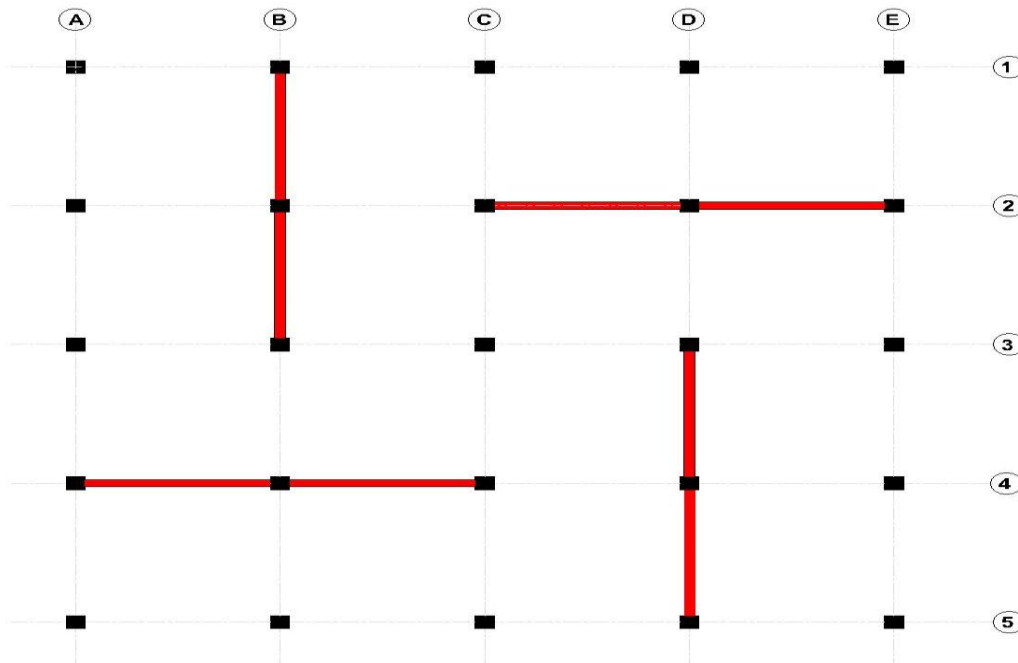


Figure III.7: Vue en plan de la variante avec 8 voiles

III.5.5. Vérification du comportement dynamique de la structure mixte avec 8 voiles :

Mode	Période (S)	Masses cumulées UX (%)	Masses cumulées UY (%)	Masses modale UX (%)	Masses modale UY (%)	Tot.masse UX,UY (t)	Nature
1	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	1400,94	/
2	0,22	62,47	7,14	62,47	7,14	1400,94	/
3	0,22	69,61	69,60	7,14	62,46	1400,94	/
4	0,07	69,61	69,60	0,00	0,00	1400,94	/
5	0,05	87,13	71,90	17,52	2,30	1400,94	/
6	0,05	89,43	89,42	2,30	17,52	1400,94	/
7	0,03	89,43	89,42	0,00	0,00	1400,94	/
8	0,03	94,24	89,48	4,81	0,06	1400,94	/
9	0,03	94,30	94,29	0,06	4,81	1400,94	/
10	0,02	94,30	94,29	0,00	0,00	1400,94	/

Tableau III.12 : Comportement dynamique de la structure avec 8 voiles

Direction xx : 10 modes (**94,30%** de la masse sismique de la structure)

Direction yy : 10 modes (**94,29%** de la masse sismique de la structure)

⇒ **Donc l'article 4.3.4 du RPA est vérifié**

III.5.6. Répartition des efforts horizontaux pour structure avec 8 voiles :

Etage	V_x repris par		V_y repris par	
	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)	Par les voiles (%)	Par les portiques (%)
Etage 1	94,87	5,13	94,87	5,13
Etage 2	94,57	5,43	94,57	5,43
Etage 3	92,98	7,02	92,98	7,02
Etage 4	91,42	8,58	82,82	17,18
Etage 5	89,75	10,25	89,74	10,26
Etage 6	82,62	17,38	82,60	17,40
Moyenne	91,03	8,97	89,60	10,40

Tableau III.13 : Répartition des efforts horizontaux pour structure avec 8 voiles

Suite au résultat donné par analyse modale spectrale et conformément aux recommandation de l'article 3.4 du RPA 99 /2003, on a remarqué que les portiques a une répartition de charge horizontale suivant X égale à 8,97% < 25% ainsi que suivant Y égale 10,40% < 25%.

Mais n'est pas vérifié pour les portiques dans les deux sens.

Finalement, cette variante à huit voiles est à rejeter aussi puisque n'est pas assuré l'article 3.4 du RPA 99/2003

L'étude de l'influence du nombre de voiles sur performance sismique d'une structure mixte est prépondérante pour optimiser aussi le nombre de voiles à placer dans de telles que structures suivant ces deux étapes :

⇒ Choisir des variantes avec :

Un nombre de voiles supérieur ou égal à 2n (n : Nombre paire)

⇒ Chaque variante, avec un nombre de voile est vérifiée conformément au RPA

III.5.6. Analyse des résultats :

Les résultats de l'étude précédente sont comparés avec les résultats de la structure variante 6 :

Variantes	Vx repris par les portiques(%)	Vx repris par les voiles(%)	Vy repris par Les portiques(%)	Vy repris par les voiles (%)
Variante 6	28,51	71,49	28,51	71,49
Structure avec 2 voiles	62,60	35,40	95,68	4,32
Structure avec 8voiles	8,97	91,03	10,40	89,60

Tableau III.14 : Analyse des résultats suivant le nombre de voile

III.6. Conclusion :

- On conclue que la variante avec un nombre de voiles = $2 \times 2 = 4$, est optimale vis-à-vis des performances sismiques d'une structure mixte,
- De ce faite, la performance sismique des structures mites n'est pas forcément proportionnelle à l'augmentation du nombre de voile : la variante à 4 voiles est plus performante que celles à 8 voiles
- Le concepteur cherchant une disposition optimale doit faire attention au pourcentage des efforts reprise Conjointement par les voiles et les portiques, c'est le sens même du système de contreventement mixte.

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIE

Chapitre I : Séisme Et Contreventement

I.1.Introduction :

La révolution industrielle a entraîné une forte urbanisation des villes .L'une de conséquences immédiates de ce boom démographique dans les zones urbaines a été le changement dans le style de construction.

En effet, afin de rationaliser l'espace, il fallait abandonner les constructions traditionnelles au profit des bâtiments multi étage.

Ce qui permettait de trouver un abri a un plus grand nombre d'habitant sur un plus petit espace cela a été possible grâce aux technique de construction modernes telles la construction métallique et le béton armé.

Les objectifs des études sont avant tout assurer la sécurité d'usagers de l'immeuble

Ensuite, il devra entre autres, durer dans le temps et résister pour y parvenir, il convient de bien maîtriser les charges permanent du bâtiment, Les charges d'exploitation à prendre en compte, ainsi que leurs combinaisons.

De même, il doit être tenu compte de la nature et des caractéristiques du sol sur lequel la construction sera érigée. Sans oublier la nécessité de la conception d'une structure qui pourra transmettre d'une manière optimale au sol, les charges engendré par le bâtiment ce qui permettra sans doute de dimensionner définitivement chaque élément en conformité avec la sécurité imposée et les règlements en vigueur.

I.2.Généralité sur les séismes :

Qu'est-ce qu'un séisme ?

Un séisme est une vibration du sol, causée par une fracture brutale des roches en profondeur créant des failles dans le sol et parfois en surface. L'activité sismique est concentrée le long de failles, en général à proximité des frontières entre ces plaques. Lorsque les frottements au niveau d'une de ces failles sont importants, le mouvement entre les deux plaques est bloqué. De l'énergie est alors stockée le long de la faille. La libération brutale de cette énergie permet de rattraper le mouvement des plaques. Le déplacement instantané qui en résulte est la cause des séismes. Après la secousse principale, il y a des répliques parfois meurtrières qui correspondent à des petits réajustements des blocs au voisinage de la faille.

Comment se manifeste-il ?

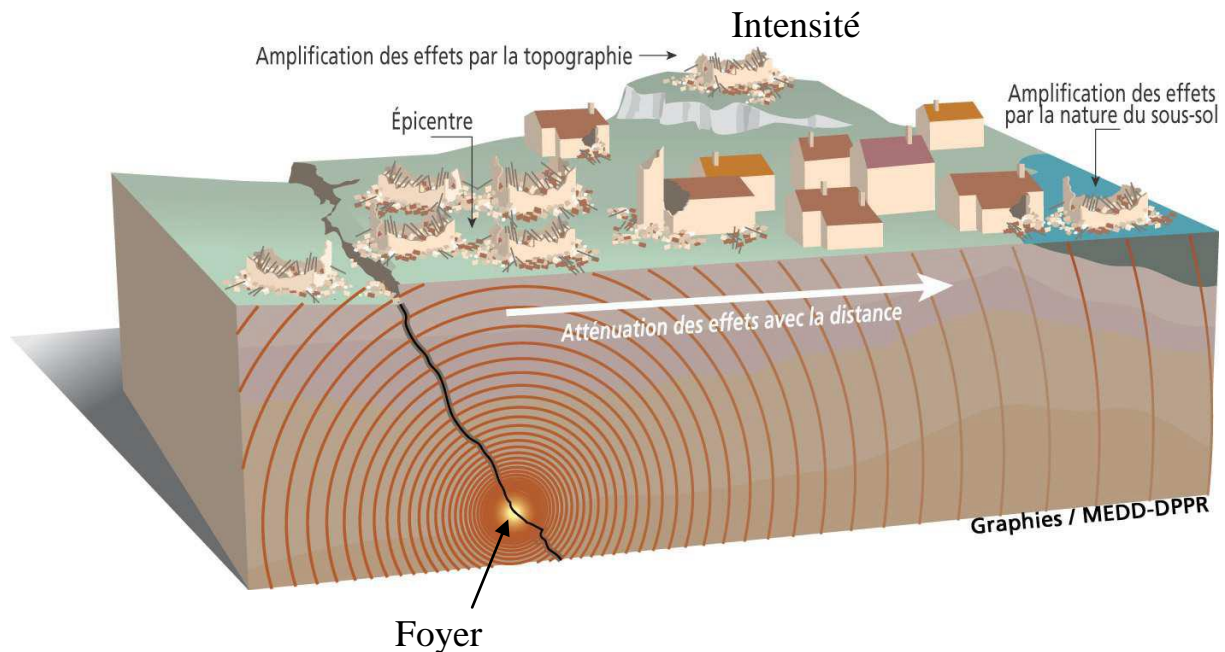


Figure I.1 : Zone de rupture de séisme

Un séisme est caractérisé par :

- son foyer : c'est la région de la faille où se produit la rupture et d'où partent les ondes sismiques
- son épicentre : point situé à la surface terrestre à la verticale du foyer et où

l'intensité est la plus importante faille

- sa magnitude : identique pour un même séisme, elle traduit l'énergie libérée par le séisme. Elle est généralement mesurée par l'échelle de Richter. Augmenter la magnitude d'un degré revient à multiplier l'énergie libérée par 30

- son intensité : qui mesure les effets et dommages du séisme en un lieu donné.

Ce n'est pas une mesure objective, mais une appréciation de la manière dont le séisme se traduit en surface et dont il est perçu. On utilise habituellement l'échelle MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik), qui comporte douze degrés.

Le premier degré correspond à un séisme non perceptible, le douzième à un changement total du paysage. L'intensité n'est donc pas, contrairement à la

Magnitude, fonction uniquement du séisme, mais également du lieu où la mesure est prise.

En effet, les conditions topographiques ou géologiques locales (particulièrement des terrains sédimentaires reposant sur des roches plus dures) peuvent créer des effets de site qui amplifient l'intensité d'un séisme.

- la fréquence et la durée des vibrations : ces deux paramètres ont une influence fondamentale sur les effets en surface

- la faille provoquée (verticale ou inclinée) : elle peut se propager en surface.

I.3.Le classement des séismes :

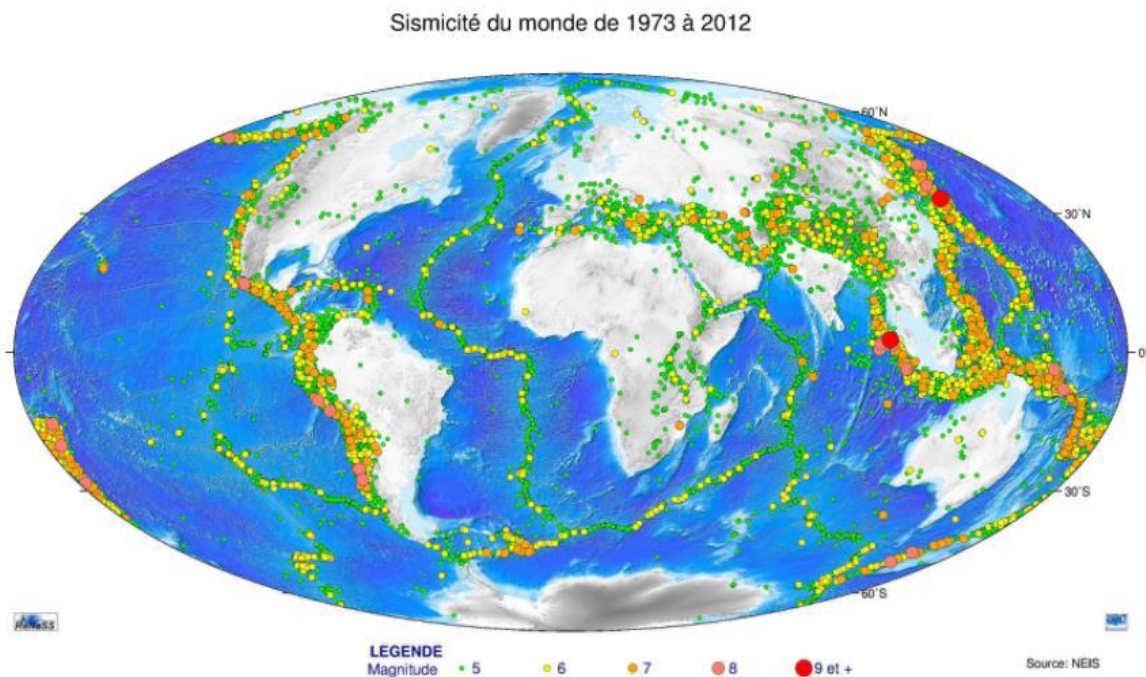
Le tremblement de terre n'ont pas toujours la même cause, D'après leur origine, le classement suivant peut être proposé :

- Séisme déclenché par l'homme
 - volontairement (séismes provoqués)
 - involontairement (séismes induits)
- Séisme naturels
 - séismes tectoniques :
 - séismes volcano-tectoniques
 - séismes tectonique sans rapport avec l'activité volcanique
 - séismes volcaniques
 - Séismes d'effondrement.

<i>Magnitude</i>	<i>Effets</i>
2.5	<i>Enregistrés par sismographe</i>
3.5	<i>Ressentis à l'intérieur</i>
4.5	<i>Vibration des vitres-Dégats locaux</i>
6.0	<i>Désordres graves-Effondrements</i>
7.0	<i>Gravement destructeurs</i>
<i>Sup à 8.0</i>	<i>Dévastateurs</i>

Tableau I -1 : Classement des séismes

I.4. La sismicité mondiale :



**Figure I-2 : Sismicité dans le monde
(Sismicité mondiale et tectonique des plaques)**

Les séismes sont des témoins permanents de l'activité du globe terrestre, de manière générale, les séismes ne se produisent jamais seuls.

On parle ainsi d'essaims de tremblements, certains, petits, précèdent parfois le séisme principal, ce sont des précurseurs, d'autres, plus nombreux, le suivant pendant des jours ou des mois : ce sont les répliques et peuvent être assez importantes.

- les séismes superficiels à moins de 60km,
- les séismes intermédiaires de 60 à 300km,
- les séismes profonds de 300 à 700km (il n'y en a plus au-delà).

Il est à noter que :

- 95% des tremblements de terre dans le monde ont lieu à une profondeur inférieure à 60km,
- 5% seulement ont lieu à une profondeur supérieure à 60km. [1]

I.5. Le risque sismique en Algérie :

L'Algérie du Nord, située à la frontière des deux plaques tectoniques africaine et eurasiatique, se trouve confrontée, à l'instar de l'ensemble des autres pays méditerranéens, à une activité sismique modérée. Cette activité occasionne l'occurrence de nombreuses secousses

qui parfois peuvent être importantes. C'est le cas par exemple des séismes d'El Asnam du 10 octobre 1980 (magnitude 7.3), le plus important qu'ait connu l'Afrique du Nord et du séisme de Boumerdes du 21 mai 2003 (magnitude 6.8). Au cours de ces dernières années, plusieurs autres secousses modérées ont touché différentes régions de notre pays. C'est le cas des secousses qui ont touché les régions d'Oran (2012), de Tenes (2012), de Beni Ilmane (mai 2010), de Béjaïa (2012- 2013) ou récemment Alger-Blida (2014). En raison de cette activité sismique et de son impact parfois désastreux sur le bâti de nos centres urbains, notre pays, au lendemain du séisme d'El Asnam de 1980, a entrepris de nombreuses actions afin de mieux évaluer l'aléa sismique, la vulnérabilité de notre bâti et de réduire le risque dans notre pays. [1]

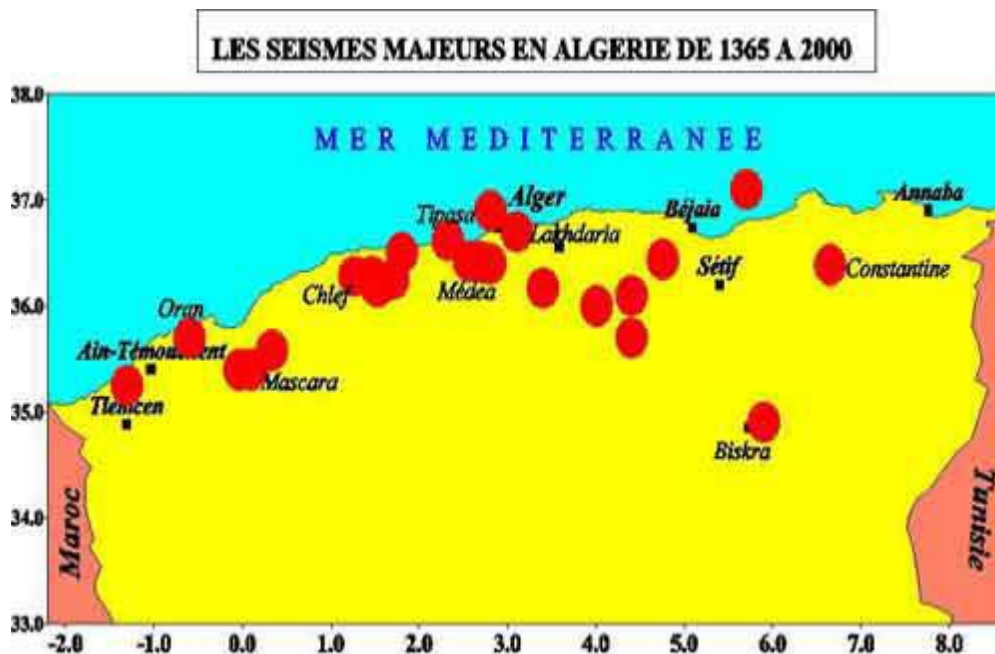


Figure I-3 : le risque sismique en Algérie

I.6.Historique :

Historiquement, l'Algérie est connue pour être une zone sismique très active. Les investigations de paléo sismicité effectuées après le séisme d'El Asnam ont permis de révéler l'existence de traces d'anciens séismes (sismicités) qui auraient affecté cette région.

L'activité sismique en Algérie du Nord connue remonte (d'après le CRAAG) au 02 Janvier 1365, date à laquelle s'est produit le séisme à Alger. Depuis, de nombreux séismes se sont produits, parmi eux certains violents et meurtriers. Parmi ces séismes nous pouvons citer ceux qui ont touché Alger en 1716, Oran en 1790, Gouraya en 1891.

Dans une période plus récente, on peut citer les séismes d'Orléans ville (09.09.1954), d'El Asnam (10.10.1980) de Constantine (27.10.1985), de Tipaza (29.10.1989), de Mascara

(17.08.1994)), d'Alger (04.09.1996), de Ain Temouchent (22.12.1999, de Beni Ouartilane (10.11.2000) et de Boumerdes-Alger, 21.05. 2003). [6]

I.7.Le séisme et les constructions en béton armé :

Les constructions en général sont soumises a trois types d'actions : qui sont les actions permanentes, les actions variables et accidentelles. Parmi les actions accidentelles : le **séisme**. Le séisme apparait comme celui pouvant causer un désastre naturel majeur, induisant des endommagements aux structures et occasionnant des pertes de vies humaines des dégâts irrémédiable au patrimoine bâti et arrêt ou ralentissement de l'activité économique.

Les photos suivantes nous montrent les **modes de ruine** des bâtiments sous l'effet de séisme ;



Figure I.4 : Désolidarisation global des constructions [5]

I.8La protection sismique des nouveaux bâtiments :

Les constructions sont généralement considérées comme « parasismique » lorsqu'elles sont conformes aux règles parasismiques en vigueur analyse de dommages sismiques des structures montre que l'apparition des règles de construction parasismique limite d'une manière importante leur amplification .Elle comprend trois parties : architectural, constructif et le **contreventement**

I.9. le contreventement :

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. [2]

I.10. Choix Du Contreventement

Le contreventement permet d'assurer une stabilité horizontale et verticale de la structure lors des secousses qui, rappelons-le, ont des composantes dans les trois directions. Le rôle du contreventement horizontal est de transmettre les actions latérales aux éléments verticaux appelés palées de stabilité.

Pour assurer le contreventement horizontal, les planchers et toitures faisant office de diaphragme rigide ne devraient pas être affaiblis par des percements trop grands ou mal placés pouvant nuire à leur résistance et leur rigidité. Les diaphragmes flexibles devraient être évités pour combattre le déversement des murs notamment en maçonnerie.

Le contreventement vertical par palées devrait répondre à des critères spécifiques tels que :

- **leur nombre** : au moins trois palées non parallèles et non concourantes par étage.
- **leur disposition** : elles seront situées le plus symétriquement possible par rapport au centre de gravité des planchers et de préférence aux angles avec une largeur suffisante.
- **leur distribution verticale** : être régulière ; les palées seront de préférence superposées afin de conférer aux différents niveaux, une rigidité comparable aussi bien en translation qu'en torsion.

I.11.Type de contreventement :

Le premier souci que doit avoir l'ingénieur d'études est de prévoir des dispositions assurant la stabilité générale et spécialement le contreventement d'ensemble des bâtiments. Ces dispositions doivent avoir pour objet non seulement d'assurer la résistance aux forces horizontales prises en compte dans les calculs, telles celles résultant de l'action du vent, mais aussi de permettre éventuellement aux bâtiments de subir sans dommages excessifs les effets de certaines sollicitations exceptionnelles, telles que des explosions localisées. Ces problèmes se posent avec une acuité particulière dans les immeubles à grand nombre d'étages. [2]

Les solutions susceptibles d'être choisies pour assurer le contreventement général des bâtiments sont évidemment liées aux contraintes qui peuvent être imposées par le parti architectural ; elles sont également dépendantes, dans une certaine mesure, du matériel dont dispose l'entreprise. Ces solutions peuvent être classées en trois grandes catégories :

- Portique Auto- stable constitué de poutre et poteaux
- Voiles rigides, Simple ou composé
- Structures mixte constitué des voiles et portiques auto-stables

Choix de type de contreventement dépend de type de zone sismique, sol et de l'importance de bâtiment .Sans oublier la disposition des éléments structuraux (voiles).

Disposition des éléments verticaux de contreventement :

- Les plus larges possibles, courant éventuellement sur plusieurs travées.
- dispose en façade ou près des façades pour conférer un grand bras de levier au couple résistant a la torsion.
- dispose symétriquement par rapport au centre de gravite du niveau. Dans le cas d'une distribution asymétrique des éléments de contreventement, la construction est soumise pendant les séismes, a des efforts supplémentaires dus a la torsion d'axe vertical. [2]



Figure. I.5 : Disposition des éléments de contreventement .

I.12. Comportement des voiles en béton armé :

Beaucoup d'immeubles privés ou de bureaux dans le monde sont construits en utilisant les voiles comme éléments principaux de résistance. Les voiles ou murs de contreventement peuvent être généralement définis comme des éléments verticaux à deux dimensions dont la raideur hors plan est négligeable. Dans leur plan, ils présentent généralement une grande résistance et une grande rigidité vis-à-vis des forces horizontales. Par contre, dans la direction perpendiculaire à leur plan, ils offrent très peu de résistance vis-à-vis des forces horizontales et ils doivent être contreventés par d'autres murs ou par des portiques. Tout en étant conscient de la grande variété des constructions à murs porteurs, nous ne pouvons fournir qu'une classification assez générale. A cet égard, trois grandes catégories peuvent être rencontrées:

- 1) structures « mixtes » avec des murs porteurs associés à des portiques,
- 2) structures à noyau central,
- 3) structures uniquement à murs porteurs.

Dans le cas 1), le rôle porteur vis-à-vis des charges verticales est assuré par les poteaux et les poutres, tandis que les voiles assurent la résistance aux forces horizontales. Un exemple de ce système constructif est présenté dans la Figure suivante :

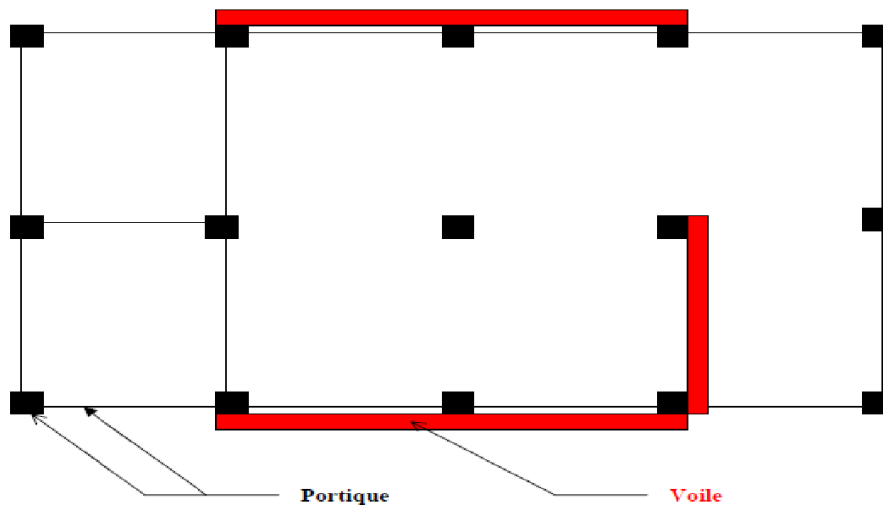


Figure. I.6 : Structures « mixtes » avec des murs porteurs couplés à des portiques.

Dans le cas 2), un noyau central formé de deux murs couplés à chaque étage par des poutres assure majoritairement la résistance aux forces horizontales. Une certaine résistance supplémentaire peut être apportée par les portiques extérieurs, comme le montre la Figure I.7.

[2]

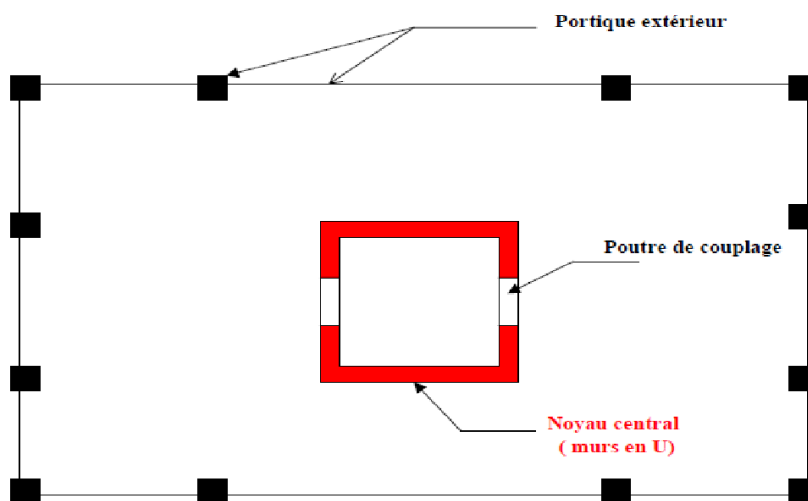


Figure. I.7 : Structures à noyau central

Dans les cas 3), les voiles assurent en même temps le rôle porteur vis-à-vis des charges verticales et le rôle de résistance aux forces horizontales. L'exemple montré dans la Figure I.8 fait apparaître ce système constructif.

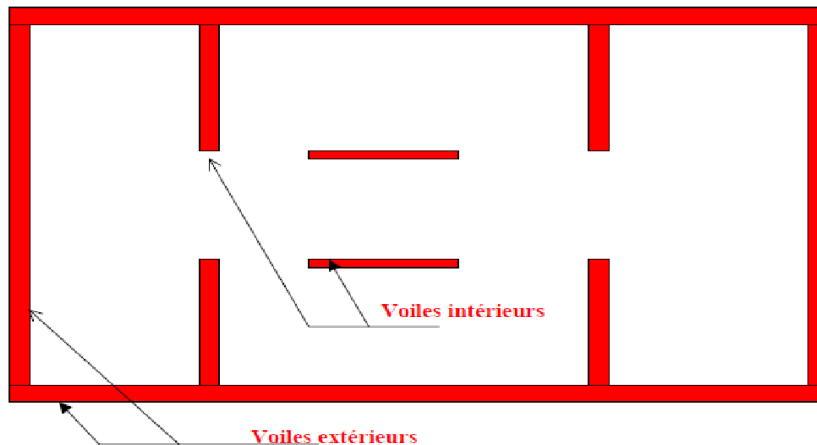


Figure I.8: Structure uniquement à murs porteurs

Le modèle le plus simple d'un voile est celui d'une console parfaitement encastree à sa base.

La Figure I.9 montre l'exemple d'un élément de section rectangulaire ou en I, soumis à une charge verticale N et une charge horizontale V en tête. Le voile est sollicité par un effort normal N et un effort tranchant V constants sur toute la hauteur et un moment fléchissant qui est maximal dans la section d'encastrement. Le ferrailage classique du voile est composé d'armatures verticales concentrées aux deux extrémités du voile ou dans les ailes (pourcentage r_0), d'armatures verticales uniformément réparties (pourcentage r) et d'armatures horizontales (pourcentage r_t), elles aussi uniformément réparties.

Les armatures verticales extrêmes sont soumises à d'importantes forces de traction/compression créant ainsi un couple capable d'équilibrer le moment appliqué. A la base du voile, sur une hauteur critique, des cadres sont disposés autour de ces armatures afin d'organiser la ductilité de ces zones.

Enfin, les armatures de l'âme horizontales et verticales ont le rôle d'assurer la résistance à l'effort tranchant.

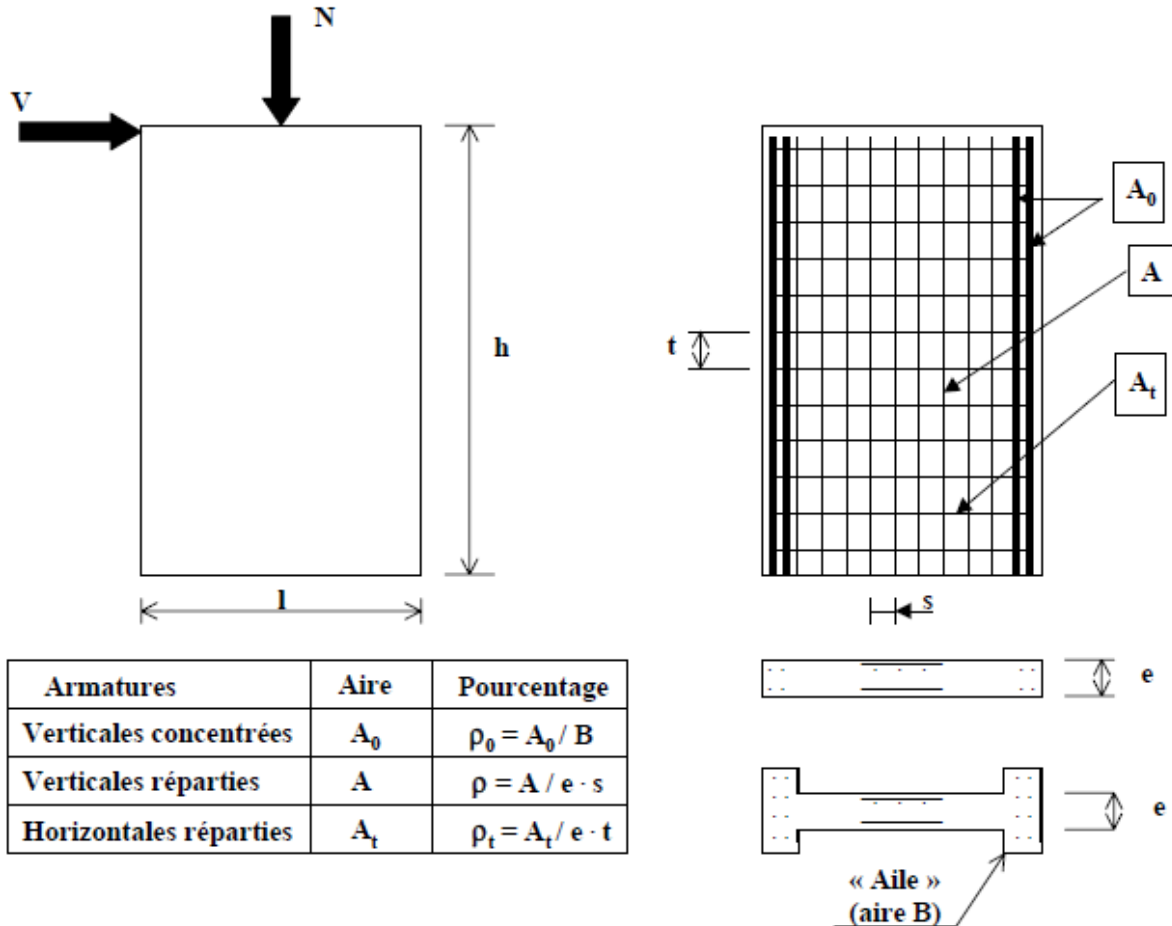


Figure I.9: Schéma d'un voile plein et disposition du ferrailage

Le terme de voile regroupe des éléments de structures au comportement mécanique très divers. Cependant, on peut considérer que les principaux paramètres ayant une influence prépondérante sur le comportement d'un voile sont les suivants :

- l'élançement, défini comme le rapport de la hauteur par la largeur du voile, h / l ,
- la disposition et le pourcentage des armatures,
- l'intensité de l'effort normal.

Du point de vue de leur fonctionnement il convient de faire la distinction entre les voiles élancés ($h / l > 2$) et les voiles courts ($h / l < 2$). Ceci, permet de mettre en évidence deux grandes familles de modes de ruptures : modes de rupture des voiles élancés et modes de ruptures des voiles courts.

En s'appuyant sur les excellentes descriptions qu'on fait FOURE et PAULAY ainsi que sur la classification donnée dans l'Eurocode 8, nous présentons, en fonction de l'élancement du voile, les modes de ruine les plus souvent rencontrés.

Les modes de ruptures des voiles élancés sont schématisés dans les Figures I.10 et I.11.

I.13. Modes de rupture des voiles élancés

1) Ruptures en flexion

- **Mode f1** : rupture par plastification des armatures verticales tendues et écrasement du béton comprimé. C'est le schéma de ruine le plus satisfaisant qui correspond à la formation d'une rotule plastique dans la partie inférieure du voile avec une importante dissipation d'énergie.

On observe ce mode de ruine dans les voiles très élancés, soumis à un effort normal de compression faible et à un cisaillement modéré.

- **Mode f2** : rupture par écrasement du béton. Ce mode de ruine se rencontre pour les voiles assez fortement armés soumis à un effort normal important. Le mode f2 est moins ductile que le mode f1, surtout dans le cas d'une section rectangulaire.

- **Mode f3** : rupture fragile par ruptures des armatures verticales tendues. C'est un mode de rupture qui se rencontre dans les voiles faiblement armés, lorsque les armatures verticales sont essentiellement réparties et non concentrées aux extrémités. La ductilité et la capacité d'absorption d'énergie peuvent être améliorées en concentrant les armatures verticales aux extrémités.

2) Ruptures en flexion-effort tranchant

Mode f/t : rupture par plastifications des armatures verticales de flexion et des armatures transversales. C'est ce qui se produit dans les voiles moyennement élancés où la flexion n'est plus prépondérante et où les armatures horizontales sont insuffisantes.

3) Ruptures par effort tranchant

Mode t : rupture des bielles de compression développées dans l'âme du voile. On l'observe dans les voiles munis de raidisseurs, fortement armés longitudinalement et transversalement et soumis à des cisaillements élevés.

Mode g : rupture par glissement au niveau des reprises de bétonnage. Ce mode de rupture qui est plutôt caractéristique aux voiles courts a été aussi observé dans les cas des voiles moyennement élancés.

Ce type de rupture peut apparaître lorsque les armatures verticales réparties sont insuffisantes, la qualité des reprises de bétonnage est mauvaise et la valeur de l'effort normal est faible.

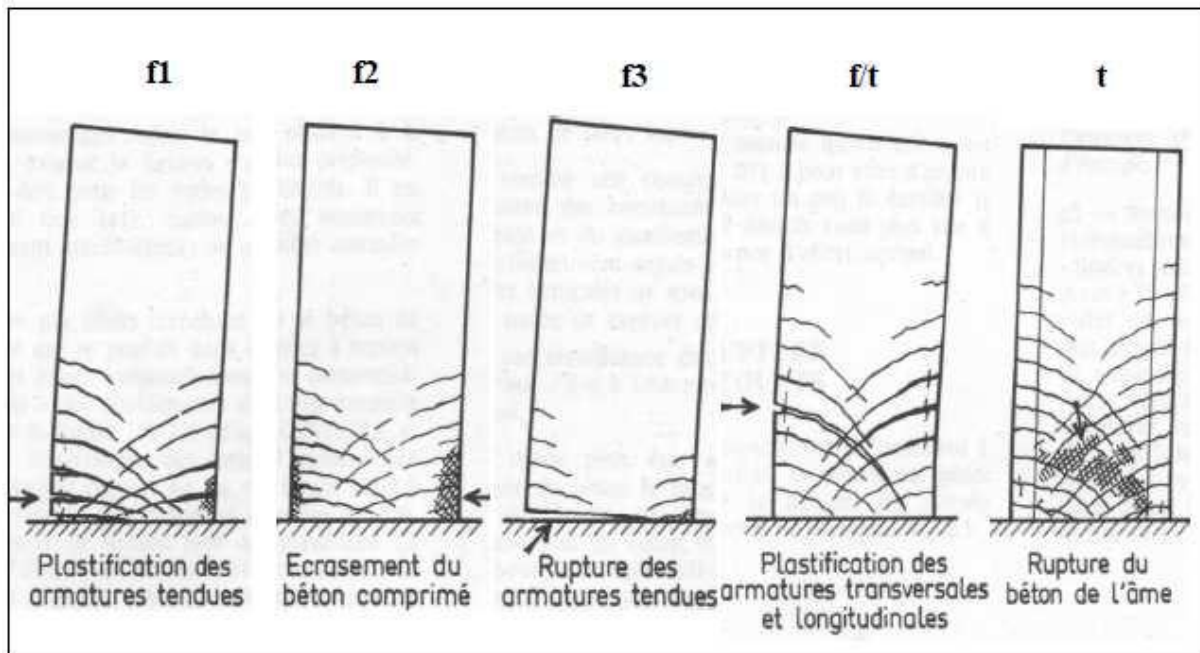


Figure I.10: Modes de rupture des voiles élancés (d'après [3])

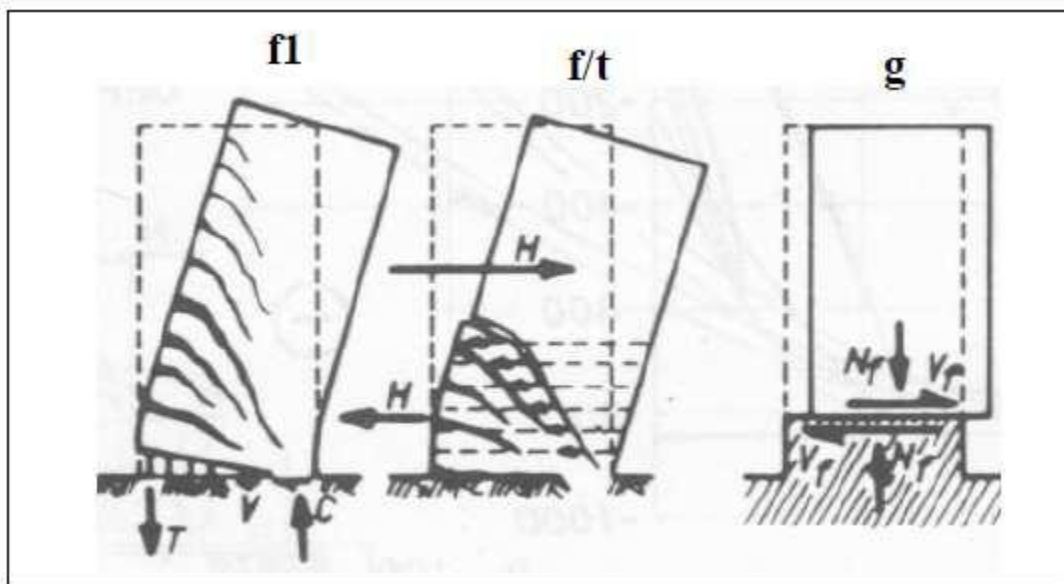


Figure I.11: Modes de rupture des voiles élancés (d'après [4])

I.14. Modes de rupture des voiles courtes

Dans ce cas, l'effort tranchant est généralement prépondérant sur la flexion. Les principaux modes de ruptures sont ceux de la Figure I.12. On distingue trois cas :

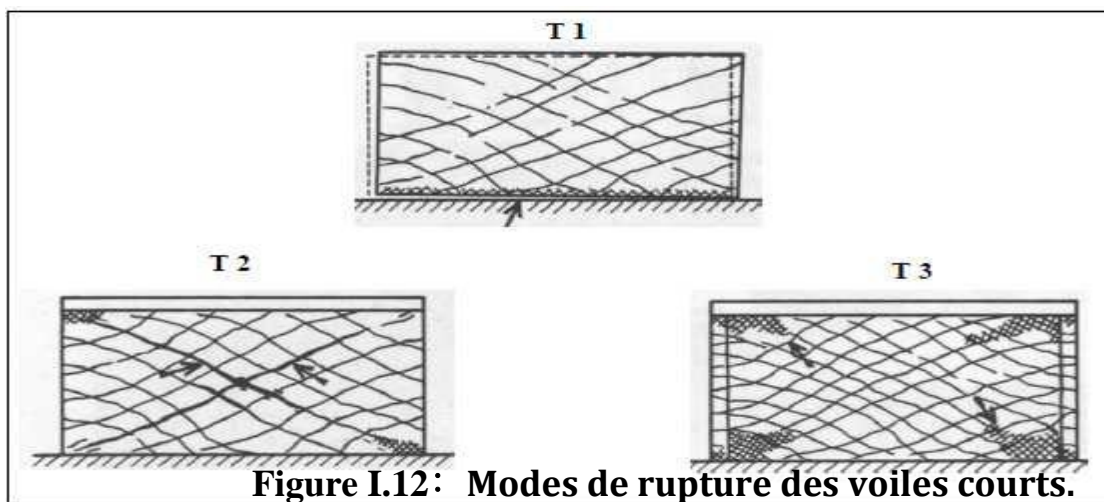
Mode T1 : rupture par glissement (« sliding shear ») à l'encastrement. Ce mode de rupture, conséquence de la plastification progressive des armatures verticales est accompagné

d'importants glissements qui réduisent d'une façon significative la raideur et la dissipation hystérétique.

Ce type de rupture peut aussi être obtenu lorsque les armatures verticales réparties sont insuffisantes.

Mode T2 : rupture diagonale (« diagonal tension failure ») avec plastification ou rupture des armatures le long des fissures diagonales. Ce mode est rencontré dans les voiles moyennement armés sollicités par un faible effort normal.

Mode T3 : rupture par écrasement (« diagonal compression failure ») du béton de l'âme, à la base des bielles transmettant les efforts de compression. C'est un mode de ruine caractéristique des voiles fortement armés, surtout s'ils sont associés à des raidisseurs sur leur bord.



Chapitre II : Méthodes De Calcul Parasismique

Dans ce chapitre, nous allons exposer le calcul des structures en génie civil, vis-à-vis les charges provenant des séismes, après qu'on en a montré les différentes généralités.

I.15. Choix de la méthode de calcul :

L'étude sismique a pour but de calculer les forces sismiques : ces calculs peuvent être menés par trois méthodes qui sont les suivantes :

- La méthode statique équivalente
- La méthode d'analyse modale spectrale
- La méthode d'analyse dynamique par accélérogramme

I.16. Les méthodes classique :

Selon l'article 4.1.1 de RPA99 version 2003, les forces sismiques peuvent être déterminées par :

I .16.1. La méthode statique équivalente :

C'est une méthode simple qui traite seulement du 1er mode de vibration et elle néglige les autres modes. Elle fait remplacer l'effort dynamique par un autre effort statique équivalent.

I.16.1.1. Principe de la méthode : RPA 4.2.1

Les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces statiques fictives dont les effets sont considérées équivalents à ceux de l'action sismique.

Le mouvement du sol peut se faire dans une direction quelconque dans le plan horizontal.

Les forces sismiques horizontales équivalentes seront considérées appliquées successivement suivant deux directions orthogonales caractéristiques choisit par le projeteur.

Dans le cas général, ces deux directions sont les axes principaux du plan horizontal de la structure.

Il faut souligner toute fois que les forces et les déformations obtenus pour l'élément a partir des méthodes d'analyse statique pour les charges de conception recommandées sont inférieurs aux forces et aux déformations qui serait observés sur la structure sous les effets d'un séisme majeur, pour lequel les charges ont été spécifiées. Ce déplacement des forces est équilibré par le comportement ductile qui est fourni par les détails de construction de l'élément. [6]

I.16.1.2. Condition d'application RPA 4.1.2 :

- Régularité en plan (RPA 3.5.1.a) : le bâtiment ou bloc étudié, satisfaisant aux conditions de régularité en plan et en élévation prescrites au chapitre 3, paragraphe 3.5 avec une hauteur au plus égale a 65m en zones 1 et 2 et a 30m en zones 3
- Régularité en élévation (RPA 3.5.1.b)
- Hauteur par rapport a chaque zone

Zone 1 : tous groupes

Zone 2.a :

- Groupe d'usage 3
- Groupe d'usage 2, si la hauteur est inférieure ou égale a 7 niveaux ou 23 m
- Groupe d'usage 1B, si la hauteur est inférieure ou égale a 5 niveaux ou 17 m
- Groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale a 3 niveaux ou 10 m

Zone 2.b et 3 :

- Groupe d'usage 3 et 2, i la hauteur est inférieure ou égale a 5 niveaux ou 17 m
- Groupe d'usage 1B, si la hauteur est inférieure ou égale a 3 niveaux ou 10 m
- Groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale a 2 niveaux ou 8 m

I.16.1.3. Modélisation :

- le modèle du bâtiment a utilisé dans chaque une des deux directions de calcul est plan avec les masses concentrés au centre de gravité des planchers et un seul degré de liberté en translation horizontal par niveau sous réserve que les systèmes de contreventement dans les deux directions puissent être découplées.
- la rigidité latérale des éléments porteurs du système de contreventement est calculé a partir de section non fissurées pour les structures en béton armé ou en maçonnerie.
- Seul le mode fondamentale de vibration de la structure est a considérer dans le calcul.

d) Calcul de la force sismique totale :

La force sismique totale V , appliquée a la base de la structure, doit être calculée selon la formule :

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

Tel que :

➤ **A** : coefficient d'accélération de zone :

Ce coefficient correspond à une accélération maximale du sol sur une période de temps déterminée, cette accélération ayant une probabilité plus ou moins grande de se produire.

Le coefficient A dépend de deux paramètres :

- Le groupe d'usage ou groupe d'importance dans lequel est classée la structure :

La structure peut se classer dans trois groupes par ordre décroissant d'importance, chaque groupe étant classé suivant le risque qu'a la structure de subir un séisme d'intensité donnée.

- La zone sismique.

Le tableau décrit à l'article 4.2.3 du RPA 99 version 2003 résume les valeurs de A en fonction de ces deux paramètres.

➤ **D** : facteur d'amplification dynamique moyen :

Ce facteur est une courbe enveloppe donnant des valeurs d'amplification de l'accélération du sol en fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement « η » et de la période de la structure « T ».

Ce facteur est classé selon 4 types de sol :

- Catégorie S1 « site rocheux »
- Catégorie S2 « site ferme »
- Catégorie S3 « site meuble »
- Catégorie S4 « site très meuble »

➤ **Q** : facteur de qualité

Ce facteur relatif à la qualité du système de contreventement de la structure.

Il pénalise les mauvaises conceptions parasismiques (voir RPA99/2003)

Le facteur de qualité de la structure est en fonction de :

- La redondance et 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 :

$$Q = 1 + \sum 5 P q (1 \rightarrow 5)$$

Tel que :

- Pq : est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité « q » est satisfait ou non.

Ses valeurs sont représentées au tableau 4.4 du RPA99/2003.

➤ **R** : coefficient de comportement global de la structure

Sa valeur unique est donnée par le tableau 4.3 de RPA99/2003 en fonction du système de contreventement.

➤ **W** : poids de la structure

W est égale à la somme des poids W_i calculées a chaque niveau i :

$$W = \sum W_i$$

Avec

$$W_i = W G_i + \beta W Q_i$$

Tel que :

- $W G_i$: poids dus aux charges permanentes et à celles des éventuelles solidaires de la structure.
- $W Q_i$: charge d'exploitation
- β : coefficient de pondération, il est donné en fonction de la durée de la charge d'exploitation qui caractérise le type de l'ouvrage. Il est représenté par le tableau 4.5 du RPA99/2003.

I. 16.2.La méthode modale spectrale :

C'est une méthode basée sur le calcul numérique des différents modes de vibrations Elle peut être utilisée dans tous les cas, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise.

Cette méthode permet de simplifier les calculs qui nous amènent alors à procéder à une analyse modale en étudiant un certain nombre de modes propres de la structure. [6]

I.16.2.1. Principe de la méthode spectrale :

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés dans la structure par les forces sismique représentées par un spectre de réponse de calcul.

Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.

I.16.2.2. Spectre de réponse de calcul :

L'action sismique est représenté par le spectre de réponse suivant :

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

Tel que :

- A : coefficient d'accélération de zone.
- η : coefficient de correction d'amortissement.
- Q : facteur de qualité.
- T : période de la structure.
- T1 , T2 : périodes caractéristiques associées a la catégorie du site.
- R : coefficient de comportement.
- η : coefficient de correction d'amortissement, donnée par la formule suivante :

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0.7$$

Avec :

- ξ : pourcentage d'amortissement critique donnée par le tableau 4.2 du **I-12-** RPA99/2003.

I.16.3. Méthode dynamique :

La dynamique des structures a pour objectif l'étude des contraintes et des déplacements d'une structure sous l'effet d'un chargement dynamique quelconque.

Le RPA 99/2003 autorise l'utilisation de toute méthode dynamique et devient nécessaire si la structure présente une dissymétrie dans son plan ou des irrégularités en élévation qui dépasse les normes fixées, ou pour les sols a haut risque sismique.

D'une manière générale, l'étude dynamique est nécessaire pour les grandes hauteurs présentant des irrégularités et celles pour lesquelles la période principale est supérieur a 1 second.

Pour cette méthode il est recherché pour chaque mode de vibration : le minimum des effets engendré dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul, ces effets sont par la suite pour obtenir la réponse de la structure.

L'étude dynamique consiste a déterminer les caractéristiques de vibrations propres d'une structure soumise a un chargement dynamique dont l'intensité varie avec le temps. Pour résoudre ce type de problèmes plusieurs solutions ont été proposées aussi bien analytique comme celle de STODOLA- VIANELLO ou encore numérique qui résout le problème par la méthode des éléments finis (MEF) appliquée par des logiciels informatiques.

Cette approche a donnée naissance a plusieurs logiciels exploitables tels que : ROBOT et SAP2000etc [7]

I.16.3.1 Modélisation :

L'analyse du comportement dynamique des bâtiments montre que le système sol-structure peut être schématisé par un modèle mathématique, représentant une console élastique encastré et présenté sous la forme des masses ponctuelles supposées encastrée au niveau des planchers, chaque masse constituera un seul degré de liberté.

Ce modèle doit tenir compte de la déformation de flexion et du cisaillement dans la structure et de la rotation, de la fondation due a la déformation du sol.

Pourquoi utilise t-on le logiciel ROBOT, pour le calcul dynamique ?

Dans l'étude de ce projet on a utilisé le logiciel Robot pour l'analyse dynamique par ce qu'il est plus exacte par rapport aux autre logiciels avec une modélisation 3D : Il nous donne directement les valeurs des sollicitations et celle du ferrailage As a adopté pour les éléments de notre structure (poteaux, poutres, voiles).

Il nous donne aussi une note de calcul détaillé [8]

I.17 Les critères de comparaisons dans notre étude : Se feront en deux étapes

- **A- La performance dynamique des structures** : Analyse linéaire - RPA, ROBOT..

Les critères de comparaison entre les différentes variantes sont proposés comme suit :

- Le déplacement inter-étages : « Δg » :
- L'un des critères de stabilité les plus importants exigé par le RPA 99/2003, consiste en la vérification des déplacements inter-étage, cette vérification semble très importante pour les trois raisons suivantes :
- La stabilité structurelle
- L'intégrité architecturale et les dommages potentiels pour les différents éléments non structuraux.
- Le confort humain durant et après les effets du séisme.

En effet, selon l'article 5.10 de l'RPA 99, l'inégalité ci-dessous doit nécessairement être vérifiée :

$$\Delta k_{\max} \leq \Delta$$

Avec :

- $\Delta = 0,01 * h_e$ ou :
- h_e : représente la hauteur de l'étage.

Les déplacements inter-étages sont calculés sous les deux combinaisons :

$$G + Q + 1,2 EX$$

$$G + Q + 1,2 EY$$

Ce sont deux combinaisons directionnelles (suivant X et Y), les plus défavorables, contenant des charges sismiques, ou que l'on appelle, une combinaison accidentelle.

- **B - L'analyse « Push-over » :**

qui est une procédure statique non linéaire dans lequel la structure subit des charges latérales suivant un certain modèle prédéfini en augmentant l'intensité des charges jusqu'à ce que les modes de ruine (rotules) commencent à apparaître dans la structure.

Les résultats de cette analyse sont représentés sous forme de courbe qui relie l'effort tranchant à la base en fonction du déplacement du sommet de la structure.

La méthode « push-over » qui est une méthode non linéaire. Par poussée progressive, nous permet d'avoir une courbe de capacité : cette analyse par la méthode « push-over » n'est pas du domaine de notre étude qui reste une étude post élastique (linéaire)

I.18.conclusion :

Notre objectif pour avoir connaitre :

- Quelle est Influence de la disposition des voiles vis-à-vis de les efforts sismique ?
- Quelle est le pourcentage des efforts horizontaux repris par voiles et portique proportionnellement à leur rigidité relative ?

Conclusion:

L'expérience des séismes passés a montré qu'une bonne disposition des voiles de contreventement permet d'avoir une exploitation optimale de la rigidité de la structure.

Les six variantes ont été au préalable, dimensionnées suivant les deux codes de calcul utilisés, le code de calcul de béton armé aux états limites (BAEL 91), et le règlement parasismique algérien, RPA99/V2003.

L'objectif assigné à cette étude est de proposer aux concepteurs de structures mixtes une méthode, qui permet de rechercher la disposition optimale des voiles en évaluant la performance sismique de la structure selon plusieurs variantes de disposition de voiles.

Nous avons effectué une étude comparative entre les différentes variantes proposées, on a comparé le comportement dynamique de la structure (modes propres des structures), les déplacements, la participation de masse, pourcentage des efforts horizontaux repris par les voiles et portiques.

L'analyse comparative des différents critères de comparaisons a mis en évidence l'excellent comportement dynamique de la variante 6, qui est clairement ressortie comme étant une disposition optimale des voiles.

Pour justifier l'excellent comportement dynamique de la structure de ces variantes, nous nous sommes intéressés aux pourcentages des efforts sismiques repris par les voiles des différentes variantes étudiées, on a constaté que le pourcentage des efforts sismiques repris par les voiles était plus élevé dans la variante 6 (variante optimale) ce qui peut justifier leur excellent comportement, car l'objectif de toute bonne conception parasismique est de faire reprendre aux voiles un maximum d'efforts sismiques afin de limiter la plastification des portiques.

En fin, une étude supplémentaire sur la variante 6 optimale pour montrer cette différence concernant l'influence du nombre de voile sur toute performance sismique, en se référant uniquement au critère de comparaison le plus significatif (pourcentage des efforts reprise les voile et les portiques).

Bibliographie :

- [1] **Fajfar P. 2000**, « A nonlinear analysis method for performance based design ». Earthquake spectra. Vol.16 pp.573-592.
- [2] Cours : Ossatures Bâtiment (2015/2016) – MASTER Génie Civil – Option : Structures Civiles et industrielles - **Prof. A. KASSOUL-UHBChef**
- [3] **FOURE, B.** « Prise en compte du comportement du béton-cas particulier des voiles plans en béton armé», en *Génie parasismique*, Presses de l'ENPC, 1985, pp. 605-616.
- [4] **PAULAY, T., PRIESTLEY, M. J. N.** « Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings », New York: Willey & Sons, 1992, 744 p.
- [5] « Seisme de BOUMERDES 21 mai 2003 » Rapport de mission ; Victor DAVIDOVICI – 23 juillet 2003.
- [6] :Kunnath, S. K (2004), « Identification of modal combination for nonlinear static analysis of building structures, Computer- Aided Civil and Infrastructure Engineering.19 » 282.295. 2004.
- [7]: Computers and Structures Inc. (CSI), « ETABS: Three Dimensional Analysis of Building Systems », Berkeley, California. 1995.
- [8]: Chopra A.K. and Goel R.K., Capacity ., Demand Diagram Methods for Estimating Seismic Deformation of Inelastic Structures: SDOF Systems», Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, PEER Report 1999/02.
- [9]: Règles Parasismiques Algériennes, *Rpa 99 / Version 2003*, Centre National De Recherche Appliquée En Génie Parasismique. Algérie.