

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

FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

N° :



DOMAINE : ST
FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : STRUCTURES

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

Par: Djellouli Selma

Intitulé

**ETUDE COMPARATIVE DE L'ÉVALUATION DES DOMMAGES SISMIQUE
POUR UNE STRUCTURE PORTIQUE EN B.A ET UNE STRUCTURE MIXTE
(PORTIQUES+ VOILES)**

Soutenu devant le jury composé de:

KHmissa	Université de M'sila	Président
MENASRI Youcef	Université de M'sila	Rapporteur
Beloiahri Brahim	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2018 /2019

Remerciement

En premier lieu, nous remercions Dieu de nous avoir donné la capacité d'achever ce travail de mémoire de fin d'étude, et nous avoir aidés à dépasser toutes les difficultés rencontrées.

En second lieu n'oublions pas de remercier chaleureusement nos parents, et nous exprimons notre profonde reconnaissance et nos sincères remerciements à notre encadreur de mémoire, **Dr :**

MENASRI Youcef, Professeur à l'université de M'sila, pour l'orientation, la confiance, la patience, qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être menée au bon port, qu'il trouve de ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui ont aidés de loin ou de près Pour la réalisation de ce mémoire, et le chef de département de génie civil Mr : BAALI LAID,

Ainsi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

En fin nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègue pour le soutien moral et matériel.

Dedication

Au nom de dieu le miséricordant, les prières et la paix soient sur notre maître mouhammed

Je remercie Allah et grâce à lui que je vous arrivée à ce niveau.

A mes très chers parents (Zohra et Seddik), que Allah les garde et les protège pour leur soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés toutes ces années.

A mes très chères sœurs : Imane, Roufaïda

A mes très chère frère : Mouhammed Ouzair

Atouts mes amies surtout : Souad, djawhar, wardia, soumai, warda, kelthoum, mounia, amel, hadjer Bouthaina et a tout la promotion de master 2 génie civil 2019.

A ma fiancé : Mouhammed

Et A tout ma famille

À tous mes enseignants qui m'ont apporté leur savoir et tout ce que je connais maintenant et ont contribué énormément dans mon éducation.

Selma. D

TABLE DE MATIERES

Remerciement	
Dédicace	
Liste des tableaux	
Listes des figures	
Notations et symboles	
Résumé	
ملخص	
Abstrad	
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Séismes

I.1 Introduction.....	2
I.1.1. Distribution mondiale des séismes.....	2
I.1.1.1. La ceinture circum pacifique.....	2
I.1.1.2. La ceinture Alpo-himalayenne.....	2
I.1.1.3. La zone des dorsales océaniques.....	3
I.2. Historique de la sismicité et Les zones sismique en Algérie.....	3
I.3 Origine et actions des séismes.....	8
I.4. Caractéristiques d'un séisme.....	8
I.5 Les ondes sismiques.....	9
I.5.1.ondes de volume.....	9
I.5.1.1. Les ondes P.....	9
I.5.1.2. Les ondes S, ou secondaires.....	9
I.5.2.ondes de surface.....	9
I.6 Cause des séismes.....	10

I.7 La magnitude et l'intensité.....	11
I.7.1 La Magnitude M.....	11
I.7.2 L'intensité I (échelle de MERCALLI).....	11
I.8. Mouvement sismique.....	11
I.8.1 L'amplitude	11
I.8.2 La fréquence.....	11
I.8.3 La période.....	11
I.9 Enregistrement des séismes.....	12
I.10 Caractérisation des accélérogrammes.....	13
I.11 Spectre de réponse	15
I.12 Conclusion.....	16

Chapitre II

Effets des séismes sur les structures portique en BA et mixte

II.1. Introduction	17
II.2.1. Structure en portique auto stable (poteau + poutre)	17
II.2.2. Structure mixte (portique +voile)	18
II.3. Dommages subis par les portiques	19
II.3.1. Rotule plastique aux nœuds poteau-poutre	20
II.3.2. Endommagement par effort tranchant associé au cisaillement dans les poteaux	20
II.3.3 Ruptures par écrasement	21
II.3.4 flambement des poteaux et décollement du béton d'enrobage	22
II.3.5 Endommagement des poutres par flexion	22
II.3.6 Dislocation des remplissages de maçonnerie	24
II.4 Dommages subis par la structure mixte (portique + voile)	25

II.5 Contreventements	26
II.5.1 Contreventement décalé	26
II.5.2 Sauts de rigidité et de résistance	26
II.5.3 Distance entre les éléments de contreventement	27
II.6 Conclusion	28

Chapitre III : Méthode modale spectrale

III.1 Introduction	29
III.2 Principe	29
III.3 Caractéristiques d'analyse	29
III.4 Méthodologie de calcul	30
III.5 Modes à considérer	32
III.6 Combinaisons de modes	32
III.7 Conclusion	33

Chapitre IV : Modélisation et analyses numériques

IV.1 Introduction	34
IV.2 Modélisation des structures étudiées	34
IV.2.1 Présentation et description des structures étudiées	34
IV.2.2 Propriétés des matériaux utilisés	37
IV.2.3 Pré dimensionnement des sections de béton des poutres et des poteaux Selon BAEL et vérification selon RPA 99 V/2003	38
IV.2.4 Définition des charges	41
IV.3 Résultats et comparaisons	41
IV.3.1 Périodes de calcul	41
IV.3.2 Spectre de réponse	42
IV.3.3 Force de niveau – Effort tranchant	42
IV.3.3.1 Comparaison des résultats des efforts tranchants	44
IV.3.4 Résultats des déplacements	44

IV.3.4.1 Comparaison des résultats des déplacements	46
IV.3.4.2 Vérification des déplacements selon l’RPA 99 version 2003	46
Conclusion générale	51
Références	52

CHAPITRE I

Séismes

Tableau I.1 : quelques exemples d'évènements sismiques récents liés à des pays	3
Tableau I.2 une liste des séismes qui ont frappé le pays depuis 1365.....	4

CHAPITRE III

Méthode d'analyse modale spectrale

Tableau III.1 les valeurs de T1 et T2	31
--	----

CHAPITRE IV

Modélisation et analyse numérique

Tableau IV.1 : Propriété de l'acier en fonction du type.....	38
Tableau IV.2 : période de calcul	41
Tableau IV.3 : Résultats des efforts tranchant dans les étages sens longitudinal (sens x)	43
Tableau IV.4 : Résultats des efforts tranchant dans les étages sens transversal (sens y)	43
Tableau IV.5 : Résultats des déplacements dans les étages sens longitudinal (sens x)	44
Tableau IV.6 : Résultats des déplacements dans les étages sens transversal (sens y)	45
Tableau IV.7 : Vérification des déplacements relatifs latéraux Selon l' RPA99 version 2003, structure portique sens y.....	47
Tableau IV.8 : Vérification des déplacements relatifs latéraux Selon l' RPA99 version 2003, structure portique sens x.....	47
Tableau IV.9 : Vérification des déplacements relatifs latéraux Selon l' RPA99 version 2003, structure mixte sens y.....	48
Tableau IV.10 : Vérification des déplacements relatifs latéraux Selon l' RPA99 version 2003, structure mixte sens x.....	48

CHAPITRE I

Séismes

Figure I.1. Carte de la distribution mondiale des tremblements de Terre.....	3
Figure I.2 carte de sismicité du nord algérien	6
Figure I.3 : carte de zonage sismique du territoire national	7
Figure I-4 : L'origine et la distribution des ondes sismiques.	8
Figure I-5 : Mouvement et caractéristiques d'un séisme	9
Figure I.6. Propagation des ondes	10
Figure I.7 : Mouvement ondulatoire	12
Figure I.8 : Fonctionnement D'un Sismographe	13
Figure I.9 : Exemple D'accélérogramme (En Cm/S^2)	14
Figure I.10 : Graphique Indicatif De La Méthode De Détermination Du Spectre De Réponse	15

CHAPITRE II

Effets des séismes sur les structures portique en BA et mixte

Figure II.1 : Ossature contreventée par portique auto stable.....	18
Figure II.2 : Ossature contreventée par voiles en béton armé	19
Figure II.3 : Rupture en zone nodale	20
Figure II.4 : Dislocation de la section	20
Figure II.5 Rotule dans le poteau (comportement recherché)	20
Figure II.6 Rotule dans la poutre (comportement à éviter)	20
Figure II.7 Mode de défaillance par effort tranchant dans les poteaux... ..	21
Figure II.8 Ecrasement de béton et flambement des aciers dans les deux poteaux de la cage d'escaliers	21
Figure II.9 : flambement des poteaux	22
Figure II.10 : Décollement de l'enrobage	22
Figure II.11 : Rupture par flexion des poutres	23
Figure II.12 Dislocation des remplissages de maçonnerie	24
Figure II.13 : Rupture de section à la base des voiles	25

Figure II.14 : Fissures ouvertes dans le voile	25
Figure II.15 : éléments élancés	25
Figure II.16 : Plastification d'un poteau d'angle due à la position asymétrique des voiles..	25
Figure II.17 : Le contreventement décalé	27
Figure II.18 : Sauts de rigidité et de résistance	27
Figure II.19 : distance entre les contreventements	27

CHAPITRE III

Méthode d'analyse modale spectrale

Figure III.1 : Spectre de réponse de calcul	31
--	----

CHAPITRE IV

Modélisation et analyse numérique

Figure IV.1 : Géométrie de la structure portique auto stable.....	35
Figure IV.2 : Géométrie de la structure mixte (portique + voile).....	36
Figure : IV.3 : Diagramme de contrainte – déformation : a) béton et b) acier.....	37
Figure IV.4 : Coupe de voile en élévation.....	40
Figure IV.5 : Dimension des sections de béton des poutres et des poteaux et des voiles des deux structures.....	40
Figure IV.6 : Spectre de réponse de calcul sol s3, A=0.15 SAP2000 v14	42
Figure IV.7 : Comparaison des déplacements de structure portique (auto stable) avec Structure mixte sens y.....	45
Figure IV.8 : Comparaison des déplacements de structure portique (auto stable) avec Structure mixte sens x	46
Figure IV.9 : Exemple de la Déformation d'une structure portique sens x	48
Figure IV.10 : Exemple de la Déformation d'une structure portique sens y	49
Figure IV.11 Exemple de la déformation d'une structure mixte sens x	49
Figure IV.12 : Exemple de la déformation d'une structure mixte sens y	50

Résumé

Dans cette mémoire, nous avons étudié et comparé le comportement (efforts tranchants, déplacements) de deux types de bâtiments d'habitation : structure portique auto-stable en béton armée et structures mixte (portique + voile), et nous avons pris en compte les caractéristiques des matériaux et éléments structurels (Analyse modale spectrale). Et a été utilisé le logiciel SAP2000 / V 14 dans la modélisation et le calcul des résultats.

Mots –clefs : *séismes, spectres de réponse, analyse modale spectrale, structure portique, structure mixte*

ملخص

في هذه المذكرة قمنا بدراسة و مقارنة سلوك (القوى والانتقالات) نوعين من البنايات السكنية من الخرسانة المسلحة تتمثل في الهياكل المستقرة ذاتيا(الإطارات) و الهياكل المختلطة (إطارات+ جدران قص,) و قد اخذنا بعين الاعتبار سلوك المواد و العناصر و هذا باستعمال طريقة التحليل الطيفي المشروط , و تم استعمال برنامج PAS 2000 / V14 في نمذجة و حساب النتائج.

الكلمات المفتاحية : الزلازل, تحليل النمط الطيفي , منشأة إطارية , منشأة مختلطة , طيف الاستجابة

Abstract

In this memory, web have studied and compared the behavior of two types of buildings with armed concret to house self-stable portal structure (frames) and mixed structures (frames + shear wall), and we took into account the behavior of materials and _elements ,with using analysis model spectrel , and was used software SAP2000 V 14 in Modling and calculâtes résulte.

Key words: seismic, response spectrums, *spectral modal analysis, gantry structure, mixed structure.*

Introduction Générale

Les séismes font partie des cataclysmes naturels qui ont exercé une grande fascination sur l'humanité. Ils sont responsable de la destruction des villes entières, la cause de la mort de millions d'hommes et souvent des conséquences économiques désastreuses pour les pays touchés. Cela pose un ultime défi aux spécialistes de génie parasismique et aux ingénieurs en génie civil de concevoir des bâtiments, des ponts des barrages capables de résister aux forces dévastatrices engendrées par les tremblements de terre.

En Algérie, la conception parasismique des structures courantes est régie par un document technique réglementaire (D.T.R.-B.C.2.48) nommé « règles parasismiques algériennes RPA99/2003. Ce dernier, propose plusieurs méthodes possibles de calcul de la réponse sismique, dont les conditions d'application différent d'une méthode à l'autre. Dans cette étude, nous choisissons la méthode modale spectrale.

Les structures relativement flexibles (portiques où cadres) se comportent mieux sous l'action sismique, cependant l'analyse de ces structures montre que ce type doit supporter d'importants déplacements, et par conséquent des dommages sévères sur les éléments structuraux et non structuraux.

Lors de tremblements de terre importants, il a été constaté que de nombreux bâtiments à voiles en béton armé ont bien résisté sans endommagements exagérés. Mis à part leurs rôles d'éléments porteurs vis-à-vis des charges verticales, les voiles en béton armé correctement dimensionnés, peuvent être particulièrement efficaces pour assurer la résistance aux forces horizontales, permettant ainsi de réduire les risques. Dans le présent travail nous étudierons et comparons le comportement de deux types de bâtiments d'habitation : structure portique auto-stable en béton armée et structures mixte (portique + voile)

Notre travail est ainsi partagé en quatre chapitres représentés comme suit :

- **Chapitre I** : Séismes.
- **Chapitre II** : effets des Séismes sur les structures Portique en B A et Mixte.
- **Chapitre III**: Méthode d'analyse modale spectrale.
- **Chapitre IV** : Modélisation et analyse numérique.



Chapitre I
Séismes

I.1- Introduction

Les séismes sont les risques naturels majeurs les plus meurtriers dans le monde, généralement associés à des dégâts considérables. Ils correspondent à une rupture superficielle ou profonde de roches résistantes. Au moment de la rupture, l'énergie libérée va se dissiper d'une part sous forme de chaleur et d'autre part, sous forme d'ondes qui se propagent à l'intérieur de la terre, se traduisant en surface par des vibrations du sol.

Il est malheureusement, certain, que les séismes continueront à surprendre l'homme. La seule chose que nous puissions prédire avec certitude, c'est que plus nous nous éloignons du dernier tremblement de terre, plus nous sommes proches du suivant. Faute de pouvoir, et pour longtemps encore sans doute-prévoir ou empêcher les séismes, nous devons nous efforcer d'en limiter les dégâts. Cette démarche commence par la connaissance détaillée de l'action sismique à savoir : la naissance du séisme, la formation et la propagation des ondes, la représentativité des accélérogrammes et des spectres associés, etc. L'aboutissement de toutes ces connaissances nous amènerons certainement à une construction parasismique [1].

I.1.1. Distribution mondiale des séismes

Les tremblements de terre se produisent dans les régions actives du point de vue géologique (zones de subduction), les zones des dorsales océaniques et les régions de formation de chaînes de Montagnes. Ils se localisent dans les zones de limite des plaques tectoniques. Les zones où se produisent fréquemment des séismes sont dites ceintures sismiques.

On connaît trois principales ceintures sismiques à la surface de la terre.

I.1.1.1. La ceinture circum pacifique : c'est la zone qui entoure l'océan pacifique. C'est la plus importante zone sismique à la surface de la Terre et libère plus de 80 % de l'énergie sismique de notre planète. Cette chaîne couvre le Chili, le Pérou, l'Amérique Central, la région des Caraïbes, le Mexique, Kamtchatka, le Japon, les Philippines, L'Indonésie, la Nouvelle Zélande.... Cette zone coïncide avec les zones de subduction et les foyers des séismes peuvent être profonds.

I.1.1.2. La ceinture Alpo-himalayenne : elle comprend la bande plissée allant des Açores la Birmanie en passant par l'Espagne, le Maroc, l'Algérie, l'Italie, la Turquie, l'Iran, Nord de Inde et l'Himalaya. La majorité des séismes de cette ceinture sont superficiels.

I.1.1.3. La zone des dorsales océaniques : des séismes sont localisés le long des dorsales océaniques. Ils sont en général imperceptibles étant donné qu'ils se produisent au milieu des océans. [1]

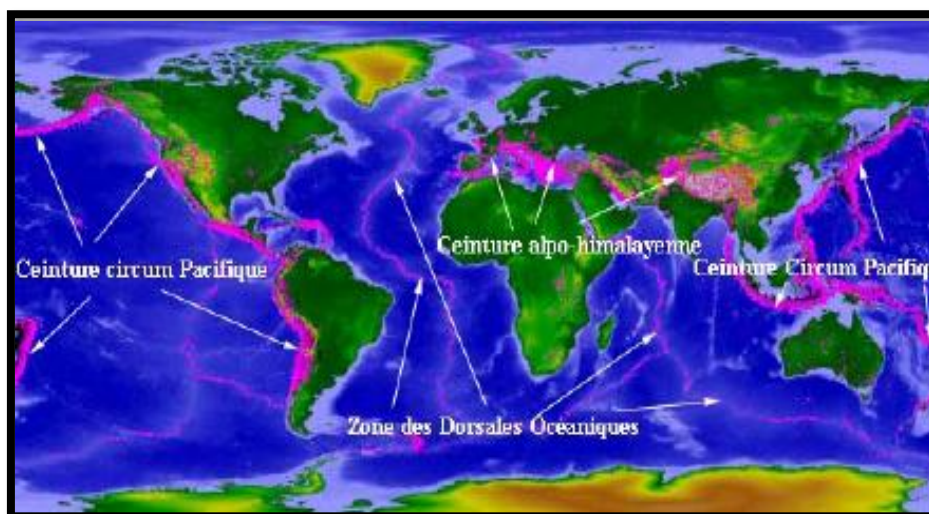


Figure I.1. Carte de la distribution mondiale des tremblements de Terre. [1]

Date	Pays	Magnitude	Victimes
27/02/2010	chile	8,8	500
28/10/2008	Pakistan	6,4	400
12/09/2007	Pérou	8	500
23/02/2005	Iran	6,4	612
08/10/2005	Pakistan	7,6	100000
26/12/2003	Iran (Bam)	6,5	35000
03/03/2002	Afganistan	7,4	100
17/08/1999	Tutquie	7,6	30000

Tableau I.1 : quelques exemples d'évènements sismiques récents liés à des pays [1]

I.2. Historique de la sismicité et Les zones sismique en Algérie :

En Algérie, une banque de données sismologique, établie par le CRAAG, recense les tremblements de terre les plus violents, de magnitude 5 +, classée en fonction de la date, de la magnitude et des dégâts humains et matériels. Parmi les plus notables, voici une liste des séismes qui ont frappé le pays depuis 1365 **Tableau I.2 [2]** :

Date (yyyy/mm/dd)	Location	Intensité (i)	M	Observations
1365/01/03	Algies	X		Alger a été complètement détruit. plus de 100 répliques ont été rapportées. une partie de la ville a été inondée. beaucoup de victimes ont été signalées.
1716/02/03	Algies	IX		rappports de 20 000 victimes. de lourds dégâts autour d'Alger. répliques ont été ressenties jusqu'en juin 1716.
1790/10/09	Oran	IX–X		événement senti aussi loin que malte; 2000 personnes ont été tuées. de lourds dommages dans la ville d'Oran et ses environs.
1825/03/02	Blida	X–XI		Blida a été complètement détruit, et 7000 personnes ont été tuées.
1856/08/22	Djidjelli	X		un tsunami a été signalé le long de la côte de la calle de Mahon, et une vaste zone a été inondée. djidjelli a été fortement affectée.
1867/01/02	Mouzaïa	X–XI		rappports de 100 personnes ont été tuées et 160 blessées dans mouzaïa. la ville a été complètement détruite. pauses de surface ont été signalées. feutre sur une grande surface, y compris Alger et Tipaza (Mouzaia).
1869/11/16	Biskra	IX		de lourds dégâts sur une vaste zone avec 30 personnes tuées.
1887/11/29	Mascara	IX–X		tremblement de terre destructeur avec 80 maisons détruites et 20 personnes tuées.

1891/01/15	Gouraya	X		de lourds dommages, avec 53 bâtiments détruits et 38 personnes tuées. feutre pour 200 km autour de gouraya.
1910/06/24	Sour el-Ghozlane	X		beaucoup de villages ont été détruits, et 81 personnes ont été tuées. répliques ont été ressenties jusqu'a janvier 1911, avec une réplique m 5.5 le 11 janvier1911.
1946/02/12	Béjaïa	IX		de lourds dégâts avec 1000 maisons détruites, 264 personnes tuées, et 112 blessés.
1954/09/09	Orléans ville	X	6.7	tremblement de terre destructeur, avec 1243 personnes tuées et 20 000 maisons détruites. un soulèvement de 1,33 m a été observé dans l'épicentre.
1980/10/10	El Asnam	IX	7.3	tremblement de terre destructeur avec 2633 personnes tuées, 8369 blessées et 1000 sans-abri.
1985/10/27	Constantine	VIII	5.9	dégâts limites, avec 10 personnes tuées et 300 blessés.
1989/10/29	Tipasa-Chenoua	VIII	5.9	dégâts limites, avec 22 personnes tuées. fortement ressenti a Alger. nombreuses répliques enregistrées après six mois.
1994/08/18	Mascara	VII	5.7	rappports de 171 personnes tuées, 289 blessés, 1328 sans-abri et 10 000 logements partiellement ou complètement détruites.
1999/12/22	Ain T'émouchent	VII	5.7	de lourds dommages, avec 26 personnes tuées et 25 000 sans-abri.
2000/11/10	Beni Ourtilane	VII	5.7	rappports de 2 personnes tuées, 50 blesses, et 3000 maisons endommagées.
2003/05/21	Zemmouri	X	6.8	fort tremblement de terre avec 2278 personnes tuées, 11 450 blessés, a rapporte 45disparus et 44 000

				maisons endommagées.
2006/03/20	Laalam	VII	5.2	dégâts modérés avec 4 morts, 68 blessés, 40 unités de logement détruites, et des dizaines de personnes laissées sans abri.
2010/05/14	Beni Ilmane	VII	5.2	dégâts modérés avec 4 morts et 170 blessés.

L'étude historique de la sismicité montre que la majeure partie des tremblements de terre qui affectent notre pays est concentrée au nord dans la chaîne Tellienne où des événements modérés à forts se sont produits. Peu de fortes secousses ont été enregistrées dans le Sud. 'figure les tremblements de terre ont souvent été meurtriers. Les sources historiques et l'actualité en témoignent. Le nombre de victimes, quelquefois difficile à évaluer, se chiffre souvent par milliers **Figure I.2** [2].

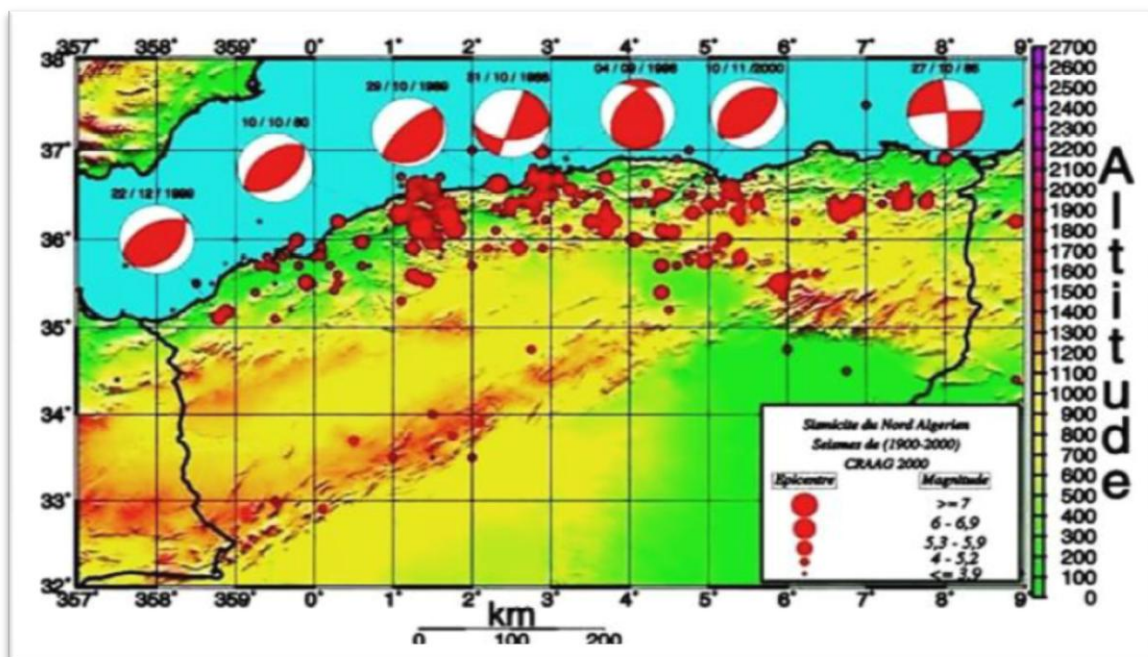


Figure I.2 carte de sismicité du nord algérien [2]

On remarque également que la fréquence des séismes est devenue grande (presque un séisme tous les trois ans en moyenne) de 1980 à nos jours.

Et pourtant, la révision de notre code sismique se fait en moyenne tous les 10 ans.

Cela nous semble anormal, car chaque évènement sismique nous donne des enseignements à tirer. En plus de ça, les recherches théoriques et pratiques doivent être continues, afin de contribuer à l'amélioration de ce code. [2]

Le territoire national est divisé en cinq (05) zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones de sismicité soit :

Zone0 : sismicité négligeable

Zone I : sismicité faible

Zones IIa et IIb : sismicité moyenne

Zone III : sismicité élevé [3]

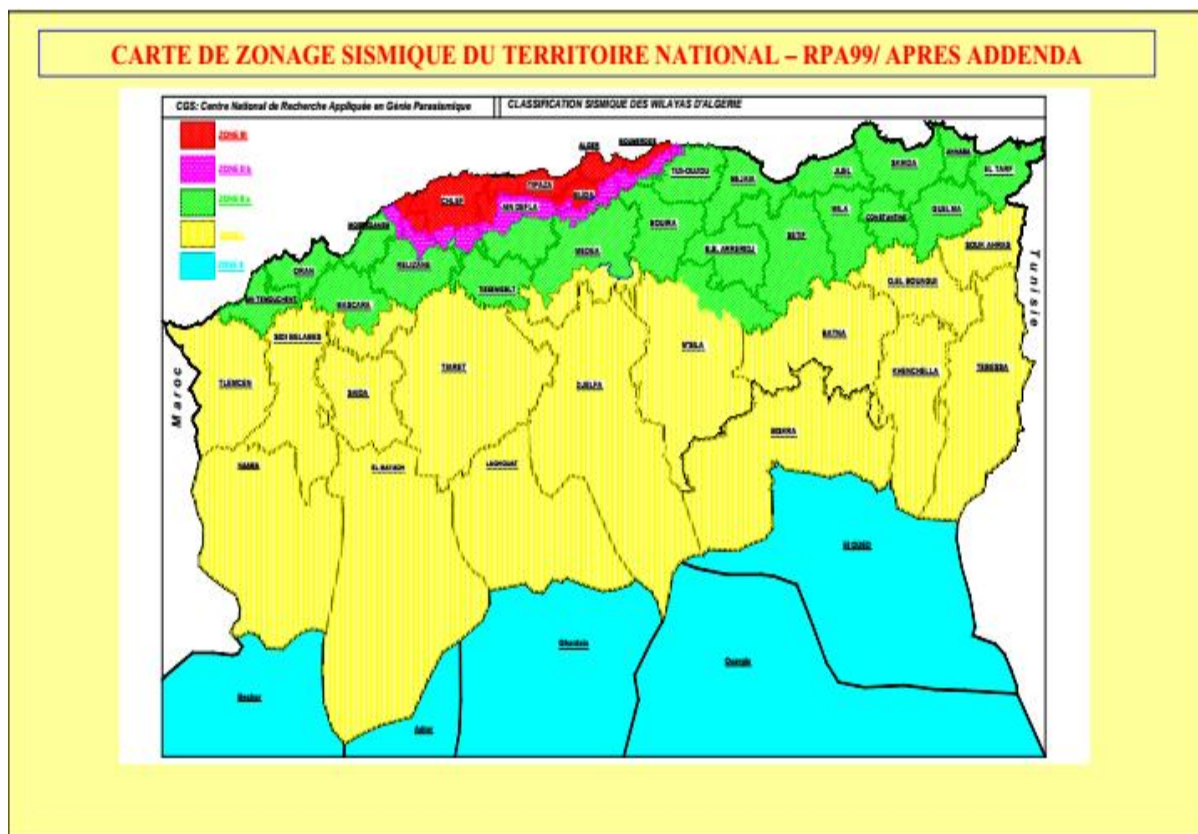


Figure I.3 : carte de zonage sismique du territoire national [3].

I.3. Origine et actions des séismes

Un séisme est une libération brutale de l'énergie potentielle accumulée dans les roches par le jeu des mouvements relatifs des différentes parties de l'écorce terrestre. Lorsque les contraintes dépassent un certain seuil, une rupture d'équilibre se produit et donne naissance aux ondes sismiques qui se propagent dans toutes les directions et atteignent la surface du sol. Ce mouvement du sol excite les ouvrages par déplacement de leurs appuis sont plus ou moins amplifiés dans la structure. Le niveau d'amplification dépend essentiellement de la période de la structure et de la nature du sol. [4]

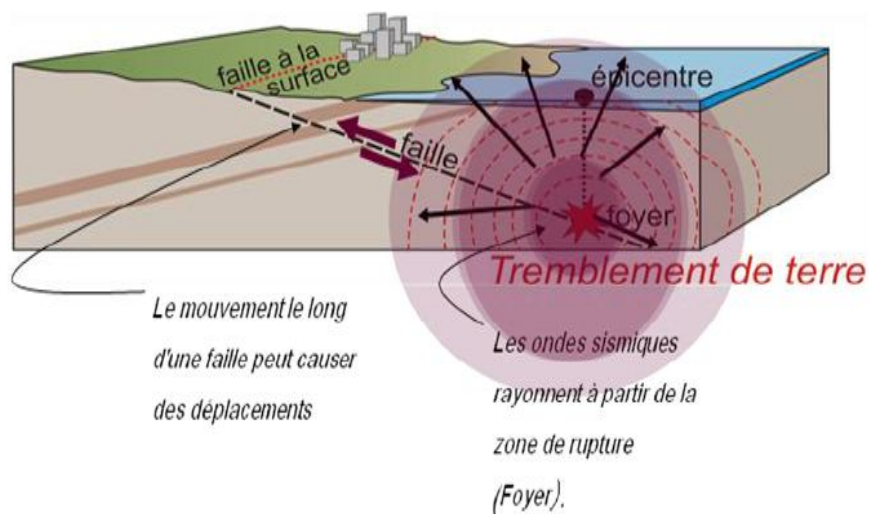


Figure I.4 : L'origine et la distribution des ondes sismiques. [4]

I.4. Caractéristiques d'un séisme

- **Un foyer** : Point d'amorce de rupture en profondeur au niveau d'une faille.
- **Des ondes** :
- **Un épicentre** : Lieu d'intensité maximale à la verticale du foyer.
- **Une magnitude** : Quantification de l'énergie libérée au foyer.
- **Une intensité** : Importance des dégâts en surface [4]

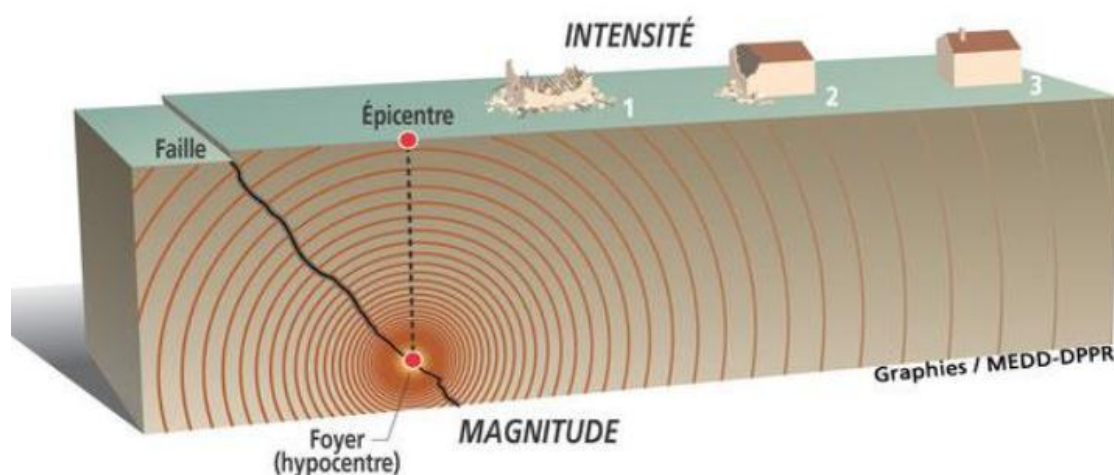


Figure I.5 : Mouvement et caractéristiques d'un séisme [4]

I.5 Les ondes sismiques [1]

Il existe plusieurs types d'ondes sismiques. Tout d'abord, il y a des :
I.5.1. ondes de volume qui vont traverser la terre. Leur vitesse dépend du matériau traversé et elle augmente avec la profondeur. On distingue deux types d'ondes de volume.

I.5.1.1. Les ondes P, ou primaires, qui engendrent des dilatations et des compressions des sols parallèlement à la propagation de l'onde, sont les plus rapides.

I.5.1.2. Les ondes S, ou secondaires, provoquent des mouvements du sol perpendiculaire à leur propagation.

Ensuite, il existe aussi des :
I.5.2. ondes de surface qui se propagent parallèlement à la surface et qui sont moins rapides que celles de volumes mais par contre qui peuvent être de plus forte amplitude. Elles se décomposent en deux types,

D'un côté les « **ondes de Love** » dont le déplacement se développe dans un plan horizontal perpendiculaire à la propagation de l'onde et les « **ondes de Rayleigh** » qui provoquent des déplacements complexes aussi bien verticaux qu'horizontaux.

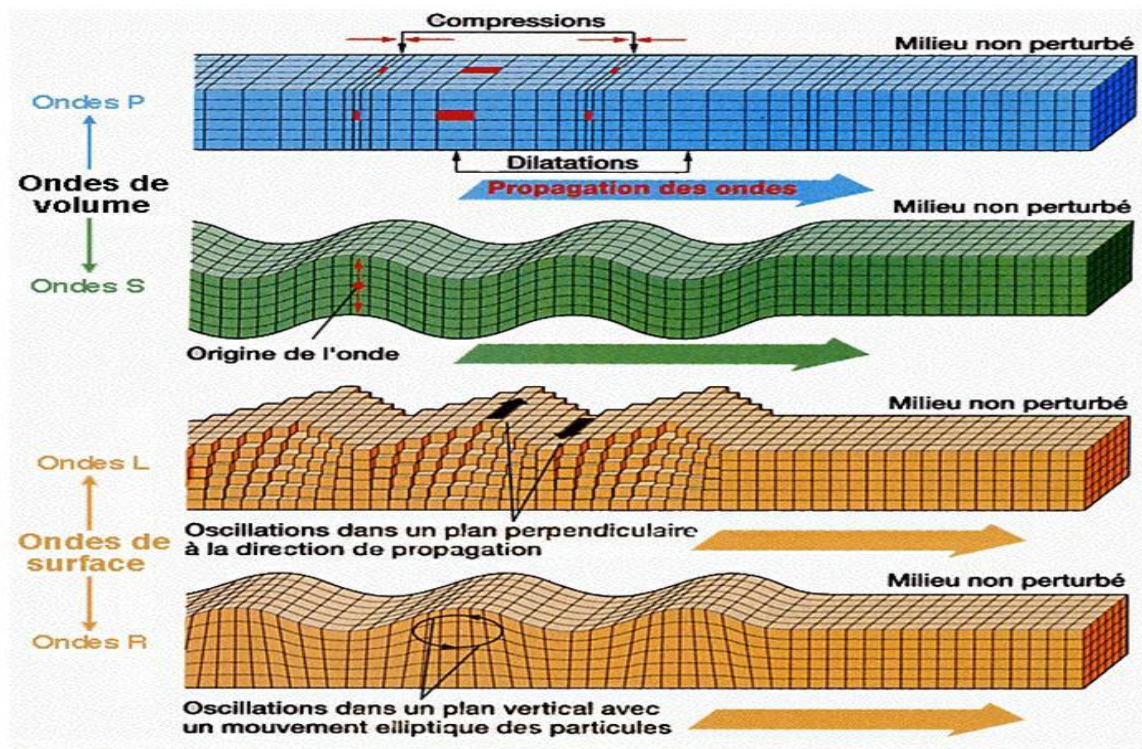


Figure I.6. Propagation des ondes [5]

I.6 Cause des séismes: [5]

Il faut distinguer ici les séismes qui touchent de grandes zones de la planète des événements d'ébranlements plus locaux. Les premiers sont d'origine tectonique ou volcanique. Les autres, bien moins énergétiques, sont souvent d'origine artificielle (barrages, extractions minières. Pompes profonds, etc.);

Ils concernent aussi l'ingénieur puisqu'ils peuvent causer des dégâts aux constructions.

I.7 La magnitude et l'intensité [6]

I.7.1 La Magnitude M

La notion de magnitude a été introduite en 1935 par le sismologue américain RICHTER. Elle caractérise l'énergie libérée par la rupture de la faille dans la zone épacentrale.

En pratique, la magnitude d'une secousse sismique est déterminée d'après les enregistrements des mouvements du sol effectués en un certain nombre de points d'observation située à des distances quelconques de l'épicentre.

La magnitude est calculée soit à partir de l'amplitude du signal enregistrée par un sismomètre, soit à partir de la durée du signal lue sur le sismogramme. Son calcul nécessite plusieurs corrélations tenant compte du type de sismographe utilisé, de la distance entre le séisme et la station d'enregistrement, de la profondeur du séisme, de la nature du sous-sol où se trouve la station d'enregistrement.

Les corrélations permettent de calculer partout dans le monde la même magnitude pour un même séisme.

I.7.2 L'intensité I (échelle de MERCALLI) [6]

L'intensité I est mesurée par l'importance des secousses perçues, donc des dégâts occasionnés, qui seront principalement en fonction de la distance par rapport à l'épicentre et de la profondeur du foyer, mais aussi de la vulnérabilité des constructions.

I.8. Mouvement sismique [6]

I.8.1. L'amplitude : elle est généralement définie par la valeur du pic d'accélération.

I.8.2. La fréquence : la une fréquence moyenne est déterminée en comptant le nombre de fois que l'accélérogramme coupe l'axe des abscisses par unité de temps.

I.8.3. La période : c'est la durée d'un cycle d'oscillations, ou bien l'inverse de la fréquence, ou bien le nombre de cycles par seconde. La notion de périodicité d'une sollicitation dynamique

d'origine sismique sera fondamentale pour la compréhension du comportement dynamique des structures.

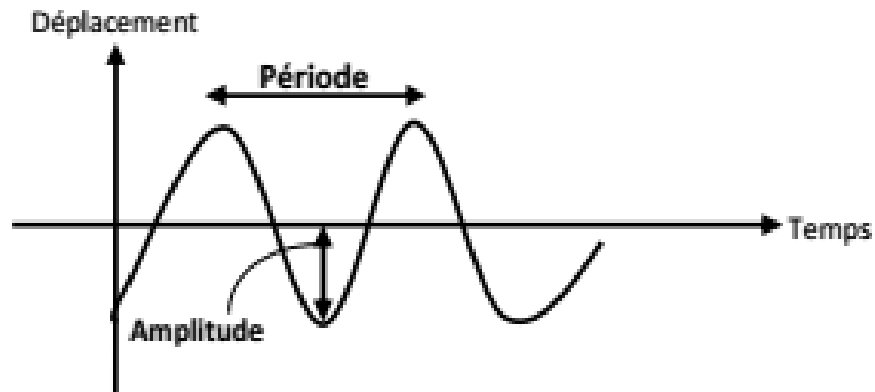


Figure I.7 : Mouvement ondulatoire [6].

I.9. Enregistrement des séismes

Le sismographe présenté ici permet de détecter et d'enregistrer les mouvements d'ondes verticales.

Lorsqu'une onde sismique atteint le sismographe, le sol, le cadre et le tambour rotatif vibrent en oscillant verticalement, alors que la masse suspendue par le ressort reste immobile du fait de son inertie, le stylet relié à la masse trace ainsi une ligne brisée sur le tambour [1].

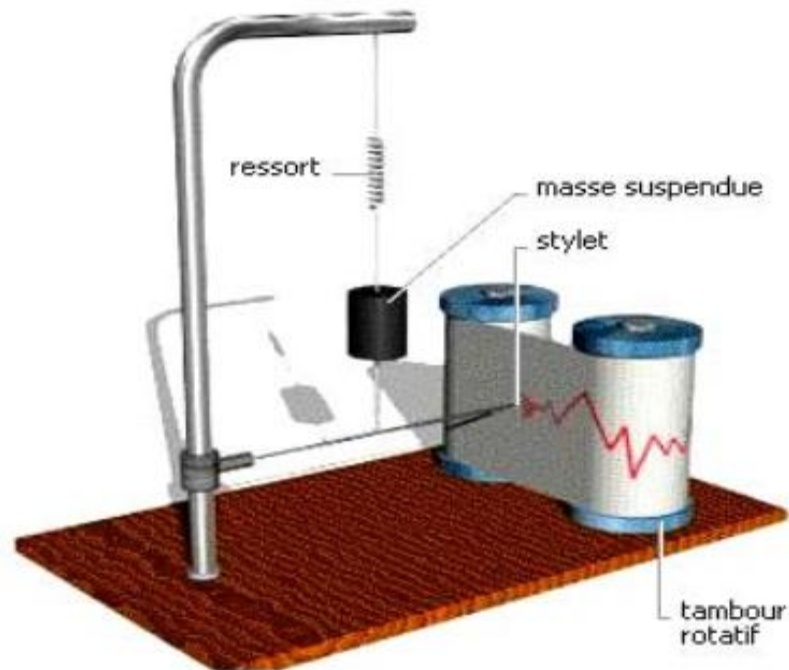


Figure I.8 Fonctionnement D'un Sismographe [1].

I.10. Caractérisation des accélérogrammes [1]

L'intégrale de Duhamel permet le calcul de la réponse dynamique de l'oscillateur simple quelle que soit la sollicitation. Un accélérogramme définit la description temporelle d'une sollicitation dynamique $\gamma(t)$, d'un séisme par exemple.

Différents paramètres peuvent caractériser des accélérogrammes pour un site donné :

- l'accélération maximale du sol ou amplitude maximale du mouvement du sol.
- le contenu fréquentiel du séisme représenté par son spectre de réponse.
- la durée de l'accélérogramme.
- le nombre de cycles forts.
- l'intensité d'Arias.

Les accélérogrammes utilisés peuvent être naturels ou synthétiques.

Les accélérogrammes naturels sont choisis parmi une banque de données faites d'accélérogrammes réels.

Les accélérogrammes synthétiques sont calculés pour reconstituer au mieux un spectre de réponse donné. Ils ont un nombre de cycles forts supérieur à celui d'un accélérogramme réel et sont donc plus endommageant.

Pour obtenir les spectres de réponse élastique, plusieurs accélérogrammes, représentatifs des séismes probables d'une région, sont appliqués à des oscillateurs simples présentant des périodes propres diverses.

La résolution de l'intégrale de Duhamel permet de définir, pour chaque période propre, le maximum de l'accélération, ou de la vitesse ou encore du déplacement de la masse. La courbe enveloppe de ces maxima constitue un spectre de réponse élastique.

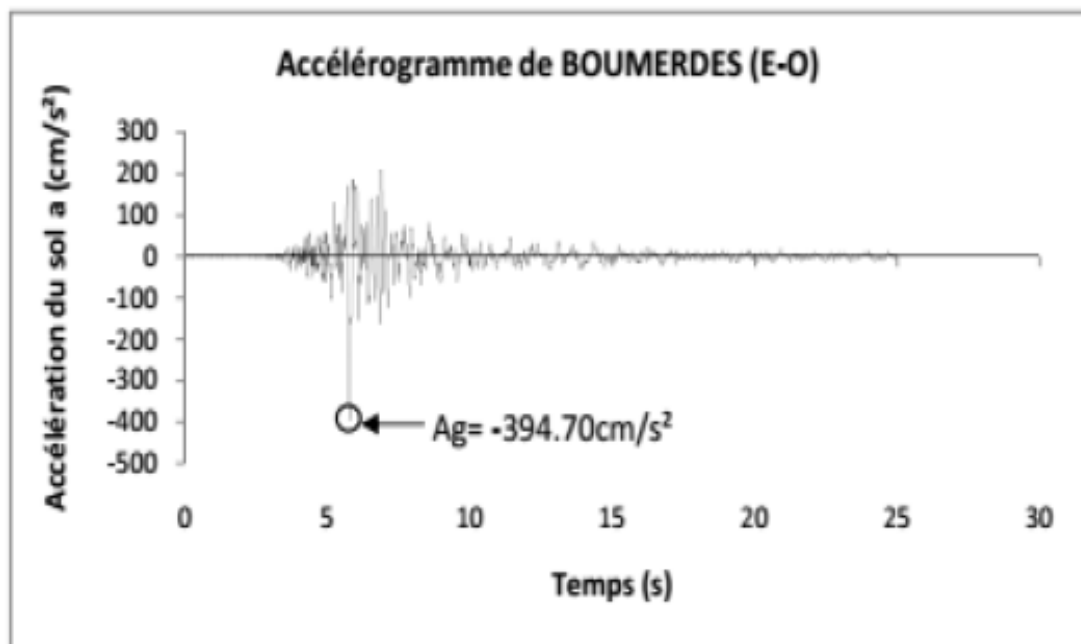


Figure I.9 Exemple D'accélérogramme (En Cm/S^2) [6].

$$u(t) = \frac{-1}{\omega} \int_0^1 \gamma_s(\tau) e^{-\zeta \omega_0(1-\tau)} \sin \omega(1-\tau) d\tau \dots \dots \dots (I.1)$$

$$\text{Avec } \omega = \omega_0 \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (I.2)$$

ω : pulsation du système amorti.

Le déplacement U_{\max} ne dépend que de ω_0 et de ζ . Pour un amortissement donné, on fait varier la pulsation propre et on trace la courbe $(U_{\max} ; (\omega_0))$, spectre de déplacement élastique de l'oscillateur. Élastique de l'oscillateur.

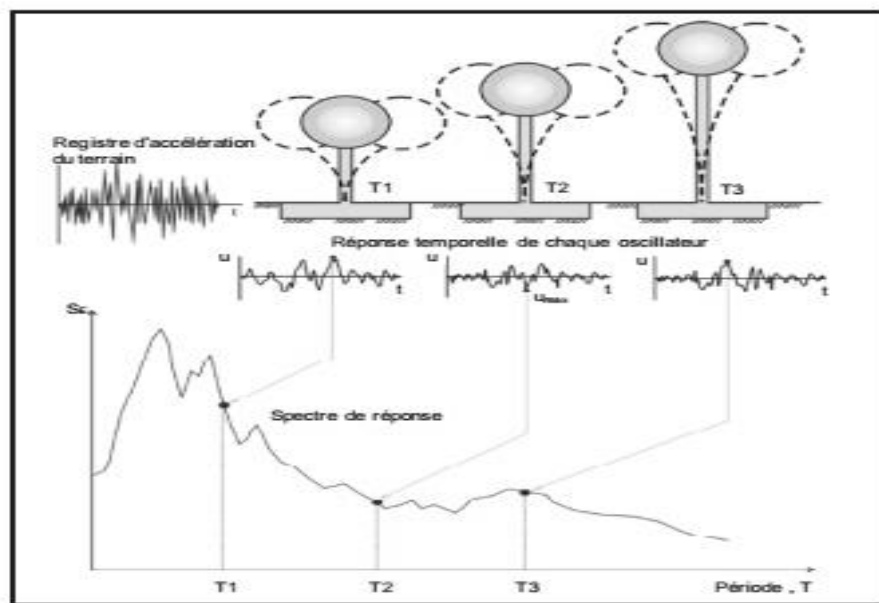


Figure I.10 : Graphique Indicatif De La Méthode De Détermination Du Spectre De Réponse [1]

I.11. Spectre de réponse [6]


L'approche commune dans le dimensionnement parasismique courant est de caractériser les effets sismiques par des spectres de réponse, c'est à dire de définir le chargement sismique par une représentation non plus dans le domaine du temps (accélérogramme), mais dans le domaine des fréquences.

Depuis son introduction par Housner dans les années cinquante, le spectre de réponse est devenu un outil indispensable dans le dimensionnement parasismique, adapté par la suite pour

l'analyse et le dimensionnement structurel inélastique. Il a été, par ailleurs, reconnu que le comportement inélastique réduit la demande de résistance d'une structure de ce qu'elle devrait être si le comportement est purement élastique. Ceci est pris en considération dans les clauses réglementaires à travers un coefficient réducteur de force dépendant du niveau de ductilité de la réponse. Actuellement, le spectre de réponse forme la base dans le processus d'évaluation des forces sismiques dans la majorité des codes parasismiques.

I.12 Conclusion [1]

Le séisme est parmi les phénomènes naturel imprévisibles est qui représente un véritable danger en casant des énormes dégâts est endommages les structures ainsi que des pertes des vies humaines si ceci frappe en face.



Chapitre II
Effets des séismes
sur les structures
portique en BA et
mixte

II.1. Introduction

Du point de vue de la stabilité sous charges horizontales (vent, séismes,...), on distingue deux types de structures : structure portique auto stable et structure mixte. Les constructions en général sont soumises à trois types d'actions qui sont les actions permanentes, les actions variables et accidentelles, Parmi les actions accidentelles « le séisme ». L'endommagement aux structures et occasionnant des pertes de vies humaines, des dégâts irrémédiables au patrimoine bâti et arrêt ou ralentissement de l'activité économique [1].

II.2.1. Structure en portique auto stable (poteau + poutre)

Les structures en portique sont des structures pour lesquelles les charges dynamiques horizontales passent par les mêmes éléments de la structure que les charges statiques verticales. Généralement, dans les zones de moyen à faible sismicité, les bâtiments en béton armé se composent en portiques auto stables tridimensionnelles, qui sont liés rigidement et capable de reprendre la totalité des forces verticales et horizontales. Dans la pratique, on trouve deux types de contreventement auto stable :

a- Contreventement par portique auto stable sans remplissage en maçonnerie rigide

L'ossature est constituée uniquement de portiques capables de reprendre la totalité des sollicitations dues aux charges verticales et horizontales. Pour cette catégorie, les éléments de remplissage ne doivent pas gêner les déformations des portiques. D'après le règlement parasismique RPA99/v2003 les bâtiments concernés ne doivent pas dépasser 5 niveaux ou 17 m en zone I, 4 niveaux ou 14 m en zone IIa et 3 niveaux ou 11 m en zone IIb et III.

b- Contreventement par portique auto stable avec remplissage en maçonnerie rigide

L'ossature est constituée de portiques capables de reprendre la totalité des sollicitations dues aux charges verticales et horizontales. D'après le règlement parasismique RPA99/v2003 les bâtiments concernés ne doivent pas dépasser 5 niveaux ou 17 m en zone I et 4 niveaux ou 14 m en zone IIa et 3 niveaux ou 11m en zone IIb et 2 niveaux ou 8 m en zone III [1].



Figure II.1 : Ossature contreventée par portique auto stable.

II.2.2. Structure mixte (portique +voile)

La meilleure façon de rendre les bâtiments en poteaux-poutres parasismiques est de les contreventer par des voiles en béton armé. Les voiles deviennent ainsi la structure principale, dont le rôle est de résister aux forces horizontales. Les bâtiments formés par l'interaction des portiques et des voiles en béton armé sont connus sous le nom d'un system mixte où hybride. Généralement, les voiles supportent la majorité des charges sismiques et une partie des charges verticales, cependant les portiques supportent une partie des charges horizontales et le reste des charges verticales revenant. Aujourd'hui, la majorité des constructions en zone sismique emploi largement ce type de contreventement.

Les voiles sont des éléments verticaux à deux dimensions dont la raideur hors plans est négligeable (Figure II.2). Dans leurs plans, 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. Les voiles sont des éléments porteurs rigides en béton armé, destinés à transmettre les charges latérales dans les

fondations. Ce type de contreventement est souvent employé pour la construction des bâtiments à un nombre d'étages élevés, de grandes importances dans les zones de forte sismicité [1].



Figure II.2 : Ossature contreventée par voiles en béton armé [1]

II.3. Dommages subis par les portiques

Les structures contreventées par portiques auto-stables sont les plus touchées par le séisme et du fait que le moment et le cisaillement soient essentiellement les efforts principaux que le portique doit supporter lors d'un chargement horizontal, on s'intéresse en premier lieu aux portiques, plus précisément à la zone nodale qui est l'essence même du portique [7].

II.3.1. Rotule plastique aux nœuds poteau-poutre



Figure II.3 : Rupture en zone nodale [7].



Figure II.4 : Dislocation de la section [7]



Figure II.5 Rotule dans le poteau
(comportement à éviter) [7]



Figure II.6 Rotule dans la poutre
(comportement recherché) [7]

II.3.2 Endommagement par effort tranchant associé au cisaillement dans les poteaux [8]

Les poteaux jouent un rôle important dans la stabilité des structures en portique en béton armé, et pour obtenir la réponse sismique ductile, les rotules plastiques ne doivent pas se former dans les poteaux (Bachmann Hugo, 2002).

Les effets de la compression axiale influent sur la réponse sous chargement cyclique (figure II.7), ces effets sont favorables ou défavorables, en effet, des charges de traction, à la suite des moments de renversement important (Bachmann H, 2002), bien que n'étant pas nuisibles du point de vue de ductilité, peuvent entraîner la dégradation significative et un risque de cisaillement par glissement (Figure II.6).

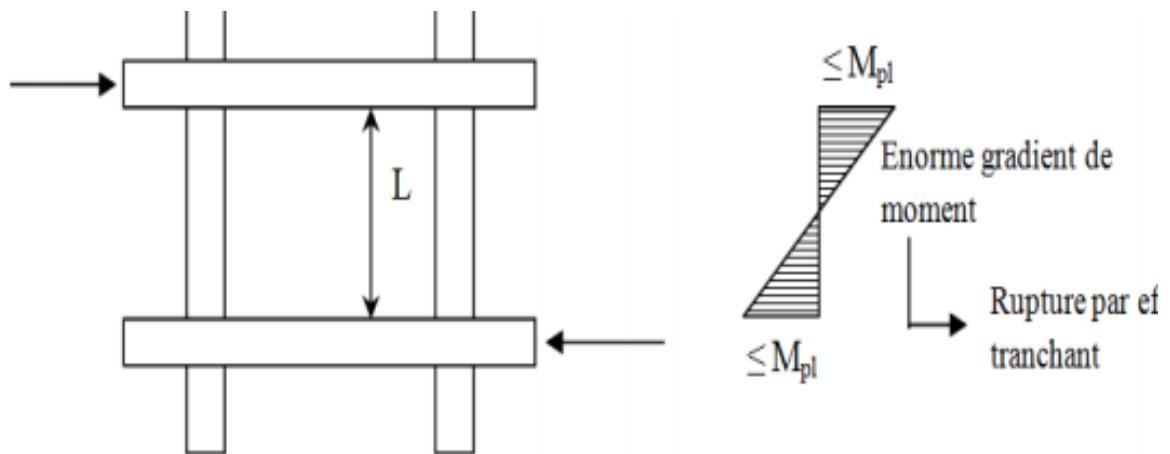


Figure II.7 : Mode de défaillance par effort tranchant dans les poteaux. [8]

II.3.3 Ruptures par écrasement



Figure II.8 : Ecrasement de béton et flambement des aciers dans les deux poteaux de la cage d'escaliers [7]

II.3.4 flambement des poteaux et décollement du béton d'enrobage



Figure II.9 : flambement des poteaux [1]



Figure II.10 : Décollement de l'enrobage [7]

II.3.5 Endommagement des poutres par flexion

La conception ductile des poutres suppose la formation de rotules plastiques à leurs extrémités (également appelées zones dissipatives), pour se conformer aux exigences de la philosophie de conception en capacité, la dissipation de l'énergie à travers des boucles d'hystérésis, c'est-à-dire sans dégradation de la rigidité et de la force, joue un rôle significatif dans la réponse sismique des structures en portiques.

Un comportement indésirable, appelé cisaillement par glissement régi par une fissure verticale en profondeur, en effet, dans les éléments avec une contrainte de cisaillement élevée, les fissures s'ouvrent dans la zone de traction et de compression (Amr S. Elnashai ,2008).

Les dommages typiques observés dans les poutres après les tremblements de terre dévastateurs sont représentés dans la **figure II.11** Il est important de reconnaître que les exemples mentionnés se rapportent aux éléments caractérisés par la non-conformité aux codes parasismiques, mais ils représentent un nombre important de bâtiments existants.

La première cause des dommages est la fissuration par flexion dans la travée des poutres **figure II.11** de telles fissures préexistantes auraient été dues à des charges gravitaires ou en raison des effets de la composante verticale du séisme. Dans ce cas, la sécurité globale du bâtiment n'est pas compromise.



Figure II.11 Rupture par flexion des poutres [7]

Souvent la ductilité des poutres en béton armé réduite à cause du manque d'espacement des étriers (presque égale à la hauteur de la poutre) et l'utilisation des aciers longitudinaux lisses ont généré la formation de fissures par cisaillement. Ces fissures conduisent à leur tour, à la réduction de la force due à la flexion et au cisaillement.

Le mécanisme de cisaillement devrait toujours être évité dans les éléments de la structure en portique, car ils sont collaborateurs à faible dissipation d'énergie et une défaillance brusque (également connu sous le nom, rupture fragile).

II.3.6 Dislocation des remplissages de maçonnerie [2]

Dans la définition du portique avec remplissage en maçonnerie rigide d'après le RPA99V2003 une seule paroi de 10cm est insérée (hors crépissage) à l'intérieur du cadre poteau poutre exception faite pour les parois extérieures où une autre de 5cm peut aussi être insérée du côté intérieur est tolérée ; Cette dernière peut éventuellement avoir une épaisseur de 10 cm à condition qu'elle ne soit pas insérée dans les cadres poteaux-poutres pour ne pas aggraver les phénomènes d'interaction maçonnerie –structure. -

On peut remarquer que dans le cas contraire, lorsque les deux parois de 10cm sont insérées à l'intérieur du cadre ce qui est le plus couramment utilisé dans les constructions, où une paroi supérieure à 10cm est insérée, il n'y a plus de classe réglementaire pour ce type de structure.

Combien même calculées avec ces méthodes, la réalisation faite en application de ces règles où la maçonnerie a été disposée à l'extérieur du cadre a favorisé leur désolidarisation et même leur effondrement malgré que l'article 6.2.4 du même RPA interdise ce type de conception en zones II et III.

Il nous paraît indispensable de définir ce type de structures simplement par maçonnerie insérée dans les cadres poteaux poutres sans aucune autre indication prêtant à confusion et interprétation, ou autres détails qui ne sont d'aucune utilité.



Figure II.12 Dislocation des remplissages de maçonnerie [1]

II.4 Dommages subis par la structure mixte (portique + voile)



Figure II.13 Rupture de section à la base des voiles [7]



Figure II.14 Fissures ouvertes dans le voile [7].



Figure II.15 : éléments élancés [1]



Figure II.16: Plastification d'un poteau d'angle due à la position asymétrique des voiles [1]

II.5 Contreventements

II.5.1 Contreventement décalé

Les contreventements sont décalés lorsque leur position diffère d'un étage à l'autre. Les moments de flexion et les efforts tranchants induits par cette disposition ne peuvent généralement pas être reportés de manière satisfaisante. Les décalages perturbent la transmission des efforts, réduisent la capacité portante et diminuent la ductilité (aptitude à se déformer plastiquement) des contreventements. Ils sont en outre responsables d'importantes sollicitations et déformations affectant d'autres éléments porteurs. En comparaison avec des contreventements continus sur toute la hauteur du bâtiment et construits dans les règles de l'art, les décalages de contreventement augmentent la vulnérabilité de l'ouvrage et réduisent notablement sa tenue au séisme dans la plupart des cas. C'est pourquoi il faut absolument éviter de décaler les contreventements.

II.5.2 Sauts de rigidité et de résistance [1]

En changeant la section des contreventements d'un étage à l'autre, on crée des discontinuités et on provoque de brusques variations de rigidité et de résistance du bâtiment. Il peut en résulter des hétérogénéités dans le comportement dynamique, d'où des sollicitations supplémentaires et des problèmes de transmission des efforts à l'échelle locale. Le cas échéant, il vaut mieux diminuer la rigidité et la résistance de bas en haut (à droite dans la (figure II.18) que faire l'inverse (à gauche).

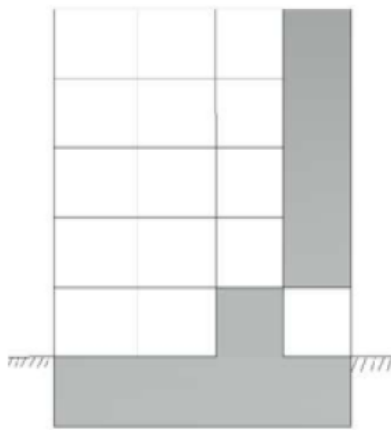


Figure II.17 : Le contreventement décalé [1].

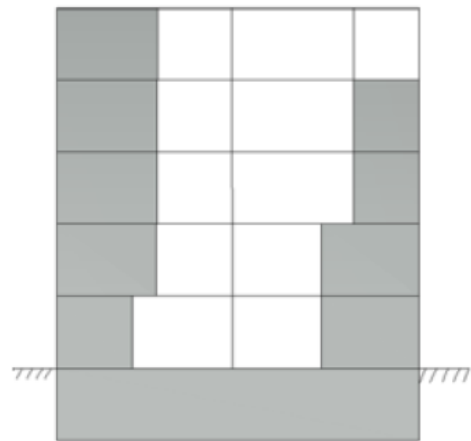


Figure II.18 : Sauts de rigidité et de résistance [1].

II.5.3 Distance entre les éléments de contreventement

Disposés en façade ou près des façades pour conférer un grand bras de levier au couple résistant à la torsion (Figure II.19). La solution la plus efficace consiste à utiliser la totalité des façades en tant qu'élément de contreventement

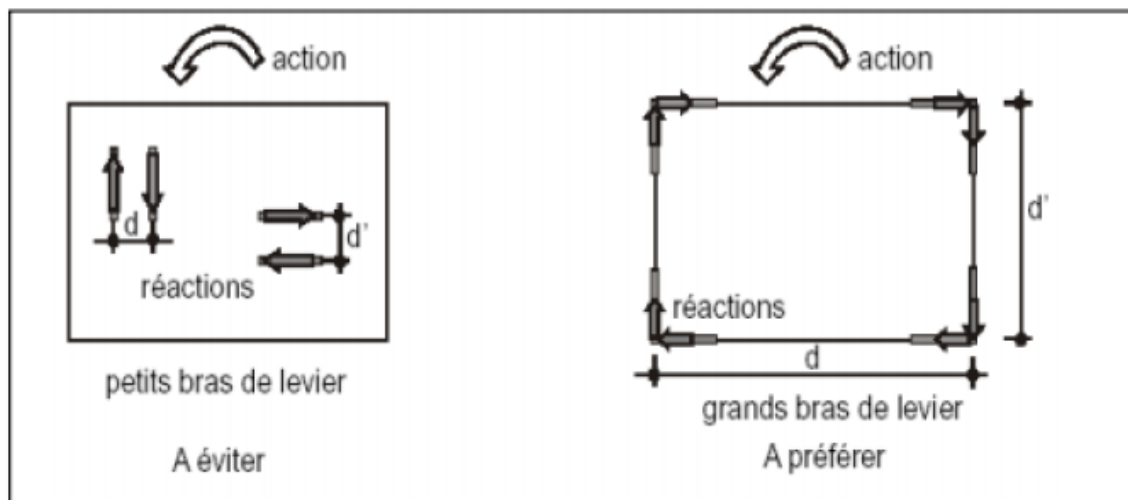



Figure II.19 : distance entre les contreventements [1].

II.6 Conclusion [8]

Tous les cas d'endommagement cités précédemment, deux aspects peuvent être soulignés : le premier concerne le caractère très violent des séismes, le second aspect est, naturellement lié aux insuffisances des performances parasismiques des systèmes de contreventement et surtout aux malfaçons de conception ou de réalisation.

Les constats des effets des séismes sur les constructions ont montré que le système structurel le plus endommagé est les structures en portique poteaux-poutres en béton armé.

Ce système aurait pu fonctionner correctement notamment si les sections des poteaux étaient bien dimensionnées et les zones nodales bien réalisées, donc ce type de contreventement devient très vulnérable, car il ne possède pas des réserves suffisantes pour emmagasiner l'énergie de déformation.



Chapitre III
Méthode
d'analyse modale
spectrale

III.1 Introduction

La méthode modale ou superposition modale est une technique très utile pour déterminer la réponse dynamique d'un système linéaire à plusieurs degrés de libertés soumis à un chargement dynamique (ou l'accélération à la base) quelconque. [11]

L'introduction de l'action sismique sous forme de spectre de réponse pour prédire les déplacements et les sollicitations dans les éléments d'une structure est une méthode qui présente des avantages pour l'utilisation de l'analyse par ordinateur. La méthode assure le calcul des valeurs maximales seulement dans chaque mode en utilisant un spectre qui représente la moyenne de plusieurs actions sismiques. [12]

Cette méthode est largement reconnue comme une puissante méthode pour le calcul de la réponse Dynamique linéaire des systèmes élastiquement amortis. Cette méthode s'avère intéressante car la Réponse des systèmes à plusieurs degrés de liberté (MDOF) est exprimée à travers une superposition Modale, chaque mode est déterminé à partir de l'analyse spectrale des systèmes à un seul degré de liberté (SDOF). [13]

III.2 Principe [3]

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure [3].

III.3 Caractéristiques d'analyse

L'analyse modale spectrale, désigne la méthode de calcul des efforts maximaux d'un séisme sur une structure. Elle est caractérisée par :

- La sollicitation sismique décrite sous forme d'un spectre de réponse ;
- Le comportement supposé élastique de la structure, permettant le calcul des modes propres.

L'analyse modale spectrale est basée sur les observations suivantes :

- La réponse d'une structure est prépondérante au voisinage de certaines fréquences, dites fréquences de résonance.

- Le comportement de la structure pour ces fréquences particulières est appelé mode de vibration.
- Le comportement global peut être considéré comme la somme des contributions des différents modes [1].

III.4 Méthodologie de calcul [14]

Elle comporte les étapes suivantes :

- Recherche des modes propres.
- Sélection des modes utiles et prise en compte éventuellement du pseudo mode.
- Combinaisons des réponses modales.
- Cumul des effets des composantes du mouvement sismique.

a- Action sismique [16]

L'action sismique est représentée par le spectre de réponse de calcul donné par le RPA99/version 2003, qui est un spectre de réponse en accélération :

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

S_a : Accélération spectrale associée au mode de vibration de période T du bâtiment

A : Coefficient d'accélération de la zone

Dans notre cas, la structure est supposée être localisé en zone sismique IIa et de groupe d'usage2

A = 0.15

η: facteur de correction d'amortissement pour un amortissement différent de 5%

η: est donnée par la formules suivante :

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \leq 0.7 \quad (\text{III.2})$$

Où **ξ** (%) est le pourcentage d'amortissement critique en fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

Portique en béton armé avec remplissage dense, **ξ = 7%**

$$D'où \eta = \sqrt{\frac{7}{7+2}} = 0.88$$

R : coefficient de comportement de la structure

- Pour des portiques auto stables avec remplissage en maçonnerie rigide, **R = 3.5**
- Pour des structures Mixte portiques/voiles avec interaction avec remplissage en maçonnerie rigide, **R =5**

Q : Facteur de qualité, il est donné par la relation suivante :

$$Q = 1 + \sum_1^5 p_q \quad (\text{III.3})$$

On prend **Q= 1.00** **T1** et **T2** : périodes caractéristiques associées à la catégorie du site ; Dans notre cas, le site est de type **S3 (sol meuble)**, d'où : **T1= 0.15** et **T2 =0.50**

SITE	S1	S2	S3	S4
T1	0.15	0.15	0.15	0.15
T2	0.3	0.4	0.5	0.7

Tableau I.1 : Valeur T1, T2

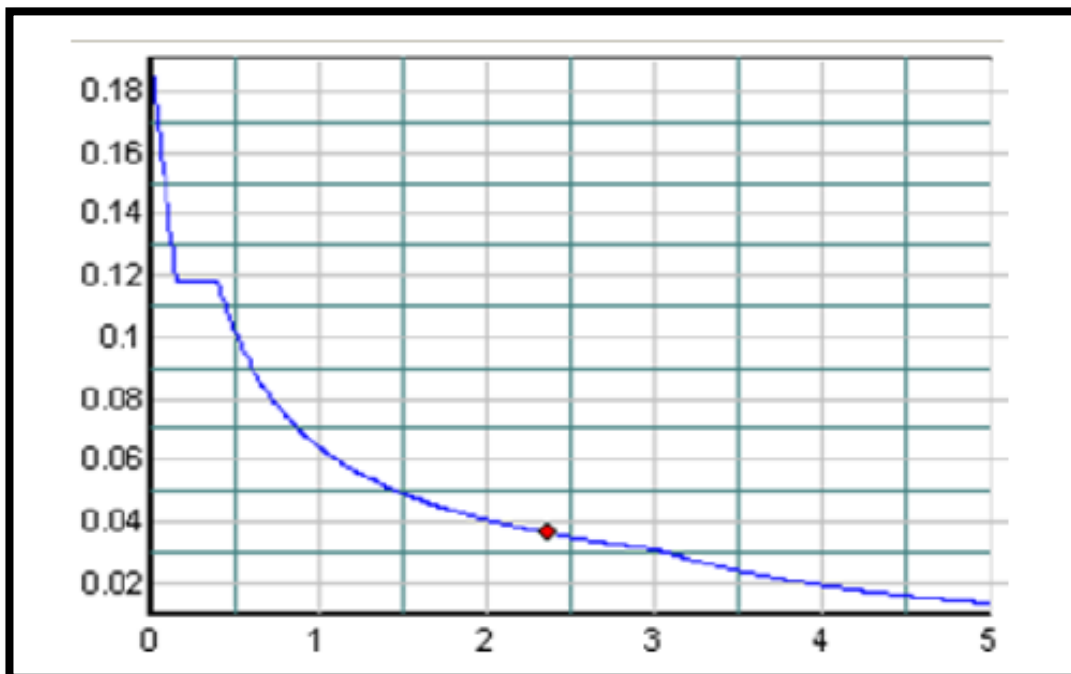


Figure III.1 : Spectre de réponse de calcul

b- Masses sismiques concentrées des bâtiments considérés

La masse sismique concentrée par niveau du bâtiment est calculée comme suit :

A un niveau i (plancher i) du bâtiment, cette masse est donnée par :

$$W_i = W_{Gi} + \beta Q_i \quad (\text{III.4})$$

Avec

W_{Gi} : Masse relative aux charges permanentes (G) ;

W_{Qi} : Masse relative aux charges d'exploitation (Q) ;

β : Coefficient de pondération des charges d'exploitation ; dans notre cas, les bâtiments considérés sont à usage d'habitation, d'où $\beta = 0.2$ (RPA99/version2003 [3]).

III.5 Modes à considérer [12]

Le nombre de modes de vibration à considérer doit être tel que :

- la somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit au moins égale à 90% de la masse totale de la structure, ou que tous les modes retenus ont une masse modale effective supérieure à 5% de la masse totale;
- le minimum de modes à retenir est de 3.

Dans le cas où les conditions citées ci-dessus ne sont pas observées, le nombre de modes à considérer est donné par l'inégalité suivante :

$$K \geq 3 \times \sqrt{N} \quad \text{Et} \quad T_K \leq 0.2 \text{ [s]}$$

N : Nombre de niveau au-dessus du sol

T_K : Période du mode K

A partir de ces conditions, on en conclut que le nombre de modes à prendre en compte doit être égal à 7.


III.6 Combinaisons de modes [12]

La méthode la plus conservatrice utilisée pour estimer la valeur maximale d'un déplacement ou d'une force dans une structure est la méthode ABS (la somme des valeurs absolues des réponses modales). Cette méthode suppose que toutes les valeurs modales maximales se produisent en même temps.

Une autre approche consiste à utiliser la méthode SRSS (la racine carrée de la somme des carrés) avec les valeurs modales maximales des déplacements ou des forces. Cette méthode suppose que toutes les valeurs modales maximales sont statiquement indépendantes. Pour des structures en trois dimensions, où plusieurs fréquences sont identiques, cette supposition n'est pas justifiée.

III.7 Conclusion [14]

L'analyse modale spectrale recommandée par les codes parasismiques de part le monde en particulier le R.P.A ne fournit que les valeurs absolues maximales des paramètres étudiés (forces sismiques dans la structure) à un coût moindre que précédemment mais avec un degré d'exactitude admis. Cependant les textes réglementaires fournissent les limites et les conditions d'application de cette méthode.



Chapitre IV
Modélisation et
analyse numérique

IV.1 Introduction

Une évaluation fiable du comportement d'un bâtiment face à un séisme, en termes de déplacement et force, requiert un outil permettant une analyse des structures par une méthode dynamique. La Méthode d'analyse modale spectrale peut être utilisée dans tous les cas, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise.

Hypothèses de calcul :

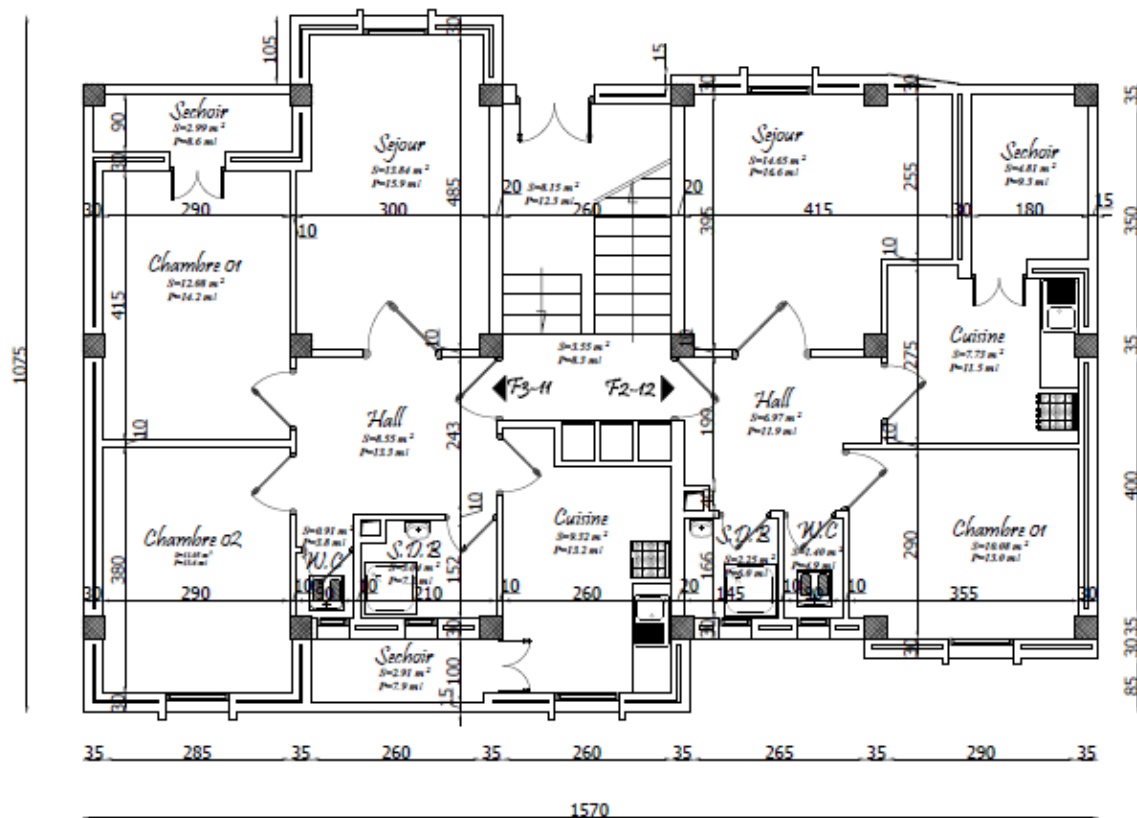
- Les masses sont supposées concentrées au niveau du plancher.
- Seuls les déplacements horizontaux des nœuds sont pris en compte
- Les planchers et les fondations doivent être rigides dans leurs plans (vis-à-vis des déplacements horizontaux) [15]
- La modélisation et l'analyse est fait par le logiciel 'SAP2000' version 14 selon les étapes suivantes :
 - Conception de la géométrie du modèle (position des nœuds, connectivité des éléments).
 - Définition des propriétés des matériaux et éléments structurels.
 - Définition des charges (statique et dynamique) et assigner ces charges aux nœuds et aux éléments.
 - Définition des conditions aux limites (appuis, diaphragmes, ...etc).
 - Analyse élastique linéaire de la structure.

IV.2 Modélisation des structures étudiées

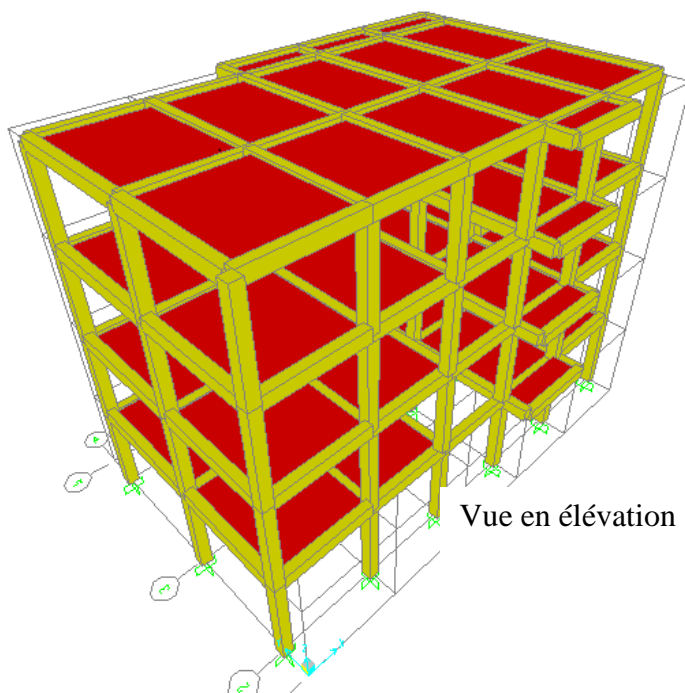
IV.2.1 Présentation et description des structures étudiées

Les deux structures étudiées est un bâtiment en béton armé en(R+3) à usage d'habitation, régulières en plan et en élévation Elles sont considérées implantées sur un site Meuble (S3) dans la commune de M'sila (wilaya de m'sila) qui est classée selon le règlement parasismique algérien (RPA99/version 2003) comme une zone de moyenne sismicité (Zone IIa).

Le premier bâtiment étudiée est une structure portique auto stable (poteau - poutre), elle est illustrée dans la (figure IV. 1), le deuxième bâtiment comporte des voiles dans le sens transversal (figure IV. 2)

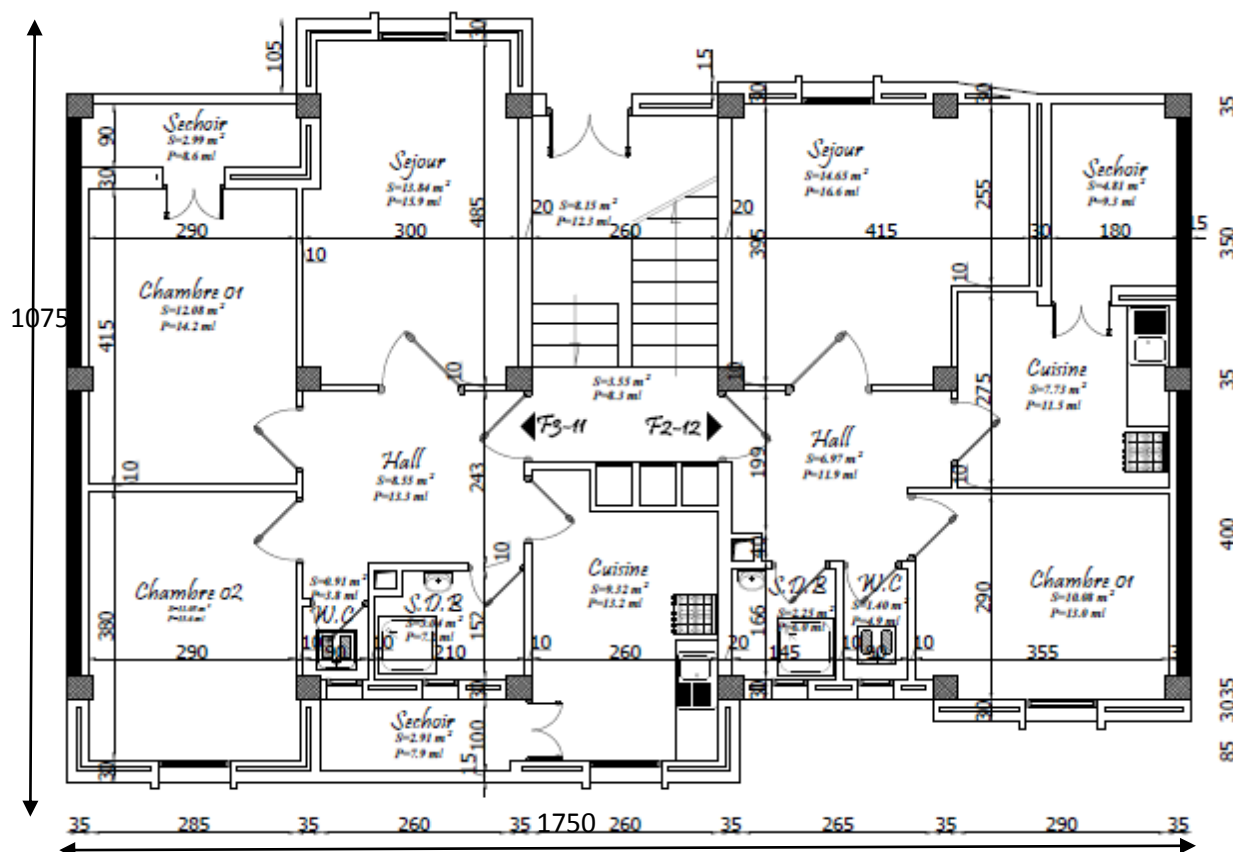


Vue en plan

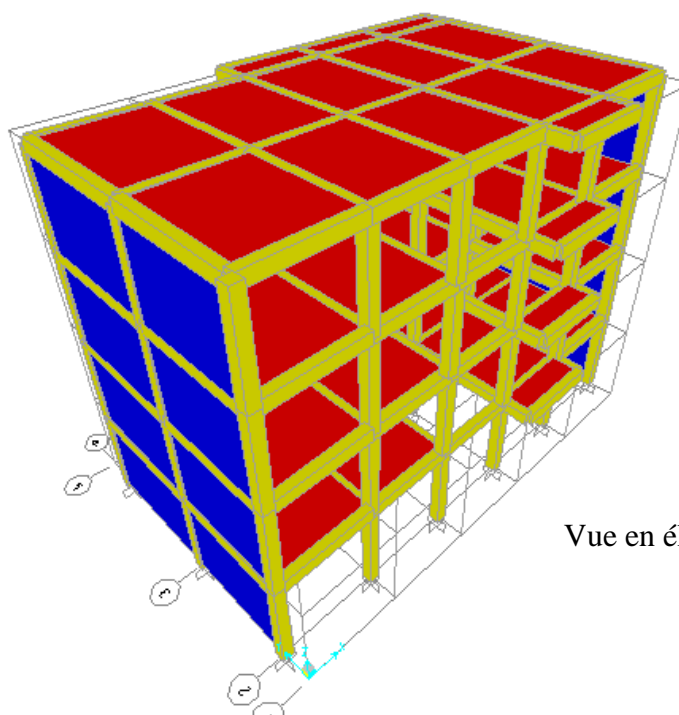


Vue en élévation (3D)

Figure IV.1 Géométrie de la structure portique auto stable.



Vue en plan



Vue en élévation

Figure IV.2 Géométrie de la structure mixte (portique + voile)

IV.2.2 Propriétés des matériaux utilisés

Béton :

- f_{c28} : Résistance caractéristique à la compression : $f_{c28}=25000 \text{ KN/m}^2$
- Poids volumique : 25 KN/m^3
- E_b : Module de Young: $E_b =32164195 \text{ KN/m}^2$
- f_{bu} : Contrainte limite du béton en compression « ELU »
- $f_{bu} =0.85 f_{cj} / \theta \gamma_b$ est la valeur de calcul de la contrainte du béton.
- Le coefficient dépend de la durée d'application des charges :

$$\theta=1 \text{ si durée } >24 \text{ h.} \quad \theta=0.9 \text{ si } 1 \text{ h} > \text{durée} < 24 \text{ h.} \quad (\text{IV.1})$$

γ_b est le coefficient de sécurité : $\gamma_b=1.5$ (cas courants) $\gamma_b=1.15$ (combinaisons accidentelles).

- coefficient de poisson : $\nu=0.2$
- f_{t28} : résistance limite en traction du béton
- ϵ_{be} : déformation limite élastique $\epsilon_{be} = 2\%$
- ϵ_{bu} : déformation ultime $\epsilon_{bu} = 3,5 \%$

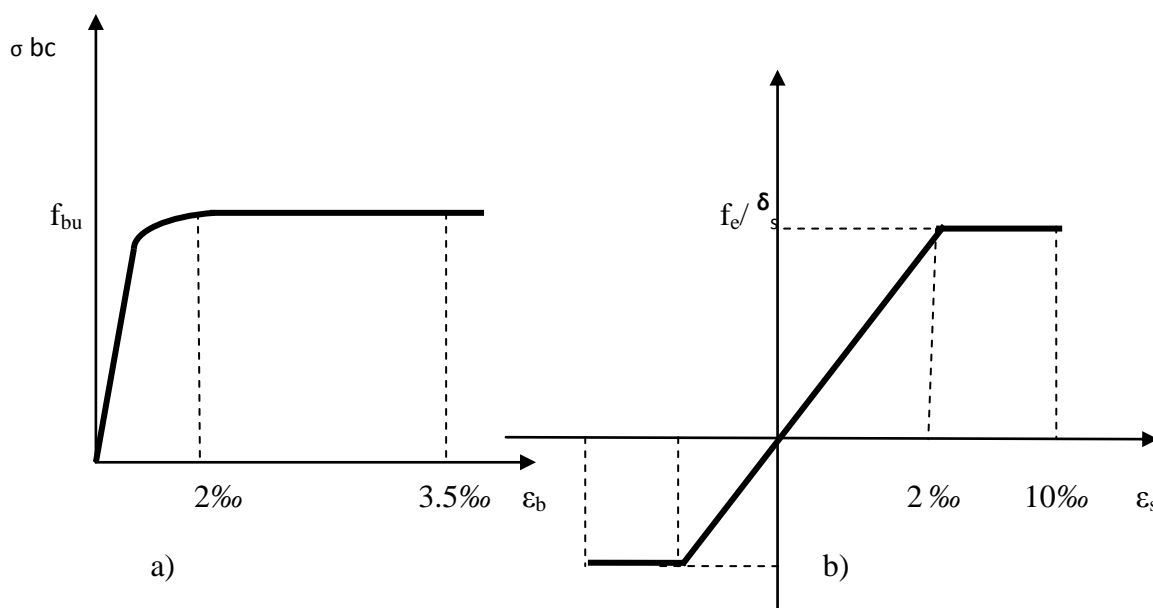


Figure : IV.3 : Diagramme de contrainte – déformation : a) béton et b) acier.

Acier :

- Rond lisse de nuance FeE235 pour les armatures transversales.
- Haute adhérence de nuance FeE400 pour les armatures longitudinales.
- E_s : Module d'élasticité de l'acier.

- f_e : Résistance limite élastique de l'acier Haute adhérence.

- f_{es} : Résistance limite élastique de l'acier Rond lisse.

- ϵ_{se} : Déformation limite élastique.

- ϵ_{su} : Déformation ultime.

Désignation	f_e (Mpa)	ϵ_{se} ‰	ϵ_{su} ‰	E_s (Mpa)
Fe E235 Rond lisse	235	2	10	$2.1 \cdot 10^5$
Fe E400 (HA)	400	2	10	$2.1 \cdot 10^5$

Tableau IV.1 : Propriété de l'acier en fonction du type.

IV.2.3 Pré dimensionnement des sections de béton des poutres et des poteaux Selon BAEL et vérification selon RPA 99 V/2003

➤ Les poutres :

h : hauteur de poutre est donnée par la formule suivant :

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10} \quad (\text{IV.2})$$

L : longueur de la poutre.

La largeur b de la poutre est donnée comme suit :

$$0.4h \leq b \leq 0.7h \quad (\text{IV.3})$$

- Les poutres doivent respecter les dimensions (RPA/version 2003 article 7.4.3.1)

$$b \geq 20 \text{ cm}$$

$$h \geq 30 \text{ cm}$$

$$\frac{b}{h} \leq 4$$

$$b_{\max} \leq 1.5h + b_1$$

➤ **Les poteaux :**

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

$$B \geq N / \delta_{bc} \quad (\text{IV.4})$$

Avec:

B : Section transversale du poteau.

$$N = G + Q \quad (\text{IV.5})$$

N : Effort de compression repris par le poteau le plus sollicité.

G : Charge permanente.

Q : surcharge d'exploitation.

δ_{bc} : Contrainte limite de service du béton en compression.

$$\delta_{bc} = 0,6 \cdot f_{c28} \quad (\text{IV.6})$$

Les poteaux sont pré dimensionnés en vérifiant la condition ci-après ou leur section, B_c est déterminée comme suite :

à l'état limite ultime de résistance, le règlement [RPA/version 2003 article 7.4.3.1] stipule que dans le but d'éviter ou limiter le risque 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, noté N_d , exprimé sous forme réduite (effort normal réduit) est limité par la condition suivante :

$$\delta_{bc} = 0,6 \times 25 = 15 \text{ Mpa.} \quad (\text{IV.7})$$

$$\frac{N_d}{B_c f_{c28}} \leq 0,30 \quad (\text{IV.8})$$

B_c : Section de béton du poteau.

f_{c28} : Résistance caractéristique à la compression du béton à 28 jours ; dans notre cas égale 25Mpa.

Min (b, h) \geq 25cm en zones IIa

➤ Les Voiles : [1]

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

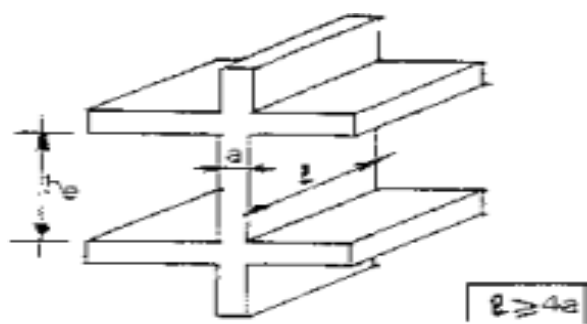


Figure IV.4 : Coupe de voile en élévation.

L'épaisseur minimale est de **15 cm**. De plus, l'épaisseur doit être déterminée en fonction de la hauteur libre d'étage h_e et des conditions de rigidité aux extrémités.

On adopte une épaisseur des voiles = **20 cm**. Dans ce cas les voiles reprennent au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales et la totalité des sollicitations dues aux charges horizontales.

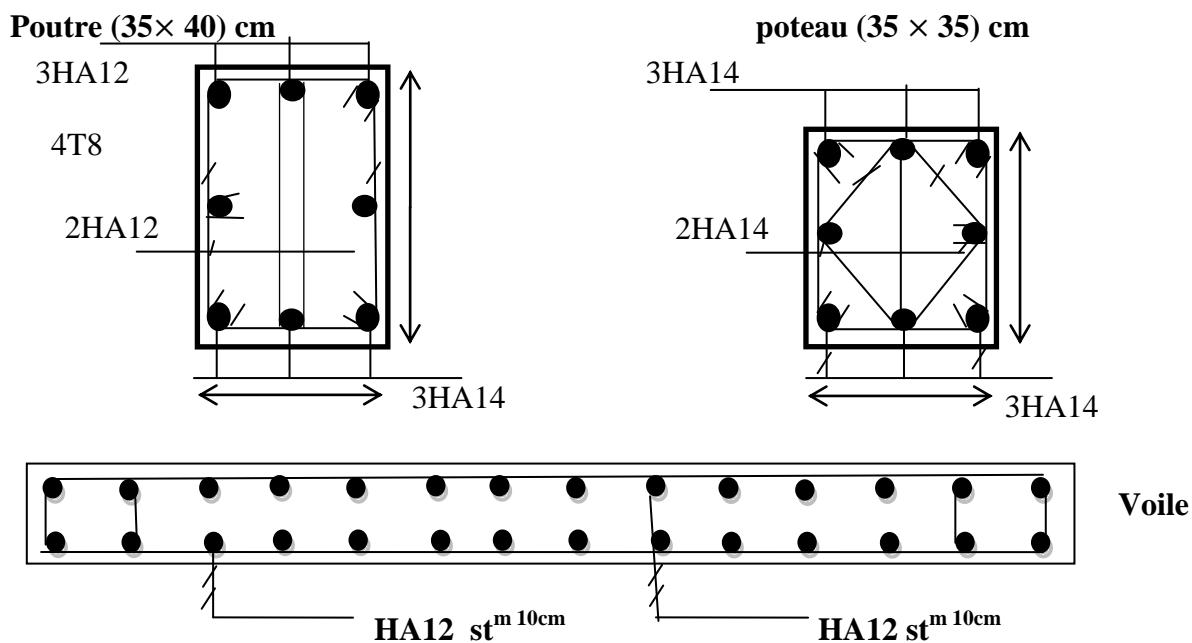


Figure IV.5 : Dimension des sections de béton des poutres et des poteaux et des voiles des deux structures.

IV.2.4 Définition des charges

Les charges que nous allons définir dans cette analyse sont de deux types : les charges gravitaires et les charges latérales.

➤ Les charges gravitaires sont les charges permanentes (**G**), ainsi que les charges d'exploitation (**Q**) multipliées par leur coefficient de pondération ' β ', bâtiment d'habitation
 $\beta=0,2$

$$G=5.5 \text{ KN/m}^2$$

$$Q=1.5 \text{ KN/m}^2$$

- Charges gravitaires :

$$W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi} \quad (\text{IV.9})$$

- Poids total de la structure :

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad (\text{IV.10})$$

IV.3 Résultats et comparaisons

IV.3.1 Périodes de calcul

Il est très utile, pour la maîtrise des résultats, de connaître a priori la grandeur des valeurs des périodes propres.

Niveau	Période Sec	Fréquence sec
1	0,34	2,87
2	0,31	3,17
3	0,30	3,33
4	0,14	6,96

Tableau IV.2 : période de calcul

IV.3.2 Spectre de réponse

D'après le RPA l'action sismique est représentée par le spectre de réponse de calcul

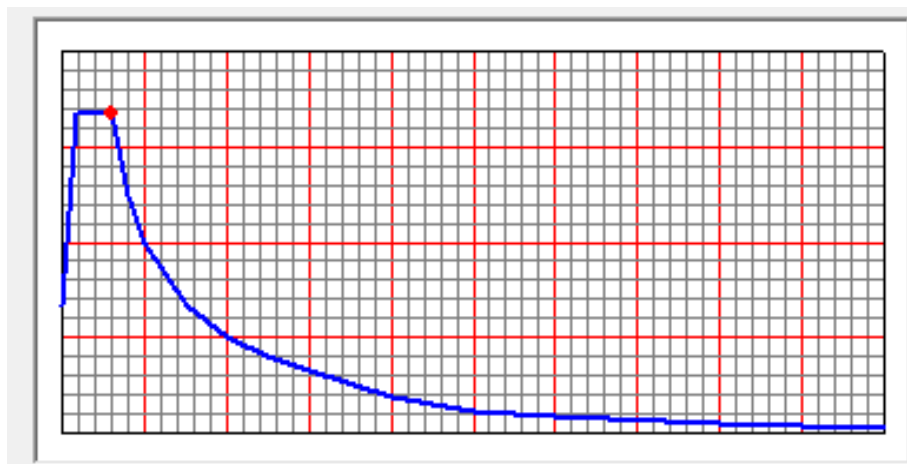


Figure IV.6 : Spectre de réponse de calcul sol s3, A=0.15 SAP2000 v14.

IV.3.3 Force de niveau – Effort tranchant

Les forces modales pour chaque niveau i sont données par la relation suivant :

$$F_j^i = \phi_j^i \cdot W^i \cdot \gamma_j \cdot (S_a/g)_j \Rightarrow \begin{cases} f_1^i \\ f_2^i \\ f_3^i \end{cases} = \begin{cases} \phi_1^i \\ \phi_2^i \\ \phi_3^i \end{cases} \cdot W^i \begin{cases} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \end{cases} \cdot (S_a/g)_j \quad (\text{IV.11})$$

- i : niveau (1, 2, 3, 4) ;
- j : mode (=1, 2, 3) ;
- W^i : poids de niveau ;
- γ_i : facteur de participation modale ;
- ϕ_j^i : déplacement modale ;

Les efforts tranchant de base est ;

$$T = \sum_{i=1}^n F_i \quad (\text{IV.12})$$

Les moments de renversement à la base est donnée par la relation :

$$M = \sum_{i=1}^n F_i h_i \quad (\text{IV.13})$$

Les combinaisons sont faites au niveau des forces sismiques suivantes les combinaisons donne par RPA v2003

Les tableaux **IV.3** et **IV.4** représentent les résultats des efforts tranchant dans les étages des deux structures étudiées (sens longitudinal (x) et sens transversal (y))

Sens x :

Efforts tranchants (kN)			
H(m)	Portique (S1)	Mixte (S2)	Comparaison S1/S2
3.06	537,13	627,50	1,16
6.12	478,38	564,17	1,17
9.18	360,88	436,05	1,21
12.24	194,14	239,68	1,23

Tableau IV.3 : Résultats des efforts tranchant dans les étages sens longitudinal (sens x)

Sens Y :

Efforts tranchants (kN)			
H(m)	Portique (S1)	Mixte (S2)	Comparaison S1/S2
3.06	488,73	663,82	1,35
6.12	464,12	587,94	1,26
9.18	352,41	450,24	1,27
12.24	191,82	245,64	1,28

Tableau IV.4 : Résultats des efforts tranchant dans les étages sens transversal (sens y)

IV.3.3.1 Comparaison des résultats des efforts tranchants

D'après les tableaux IV.3 et IV.4 précédent nous pouvons remarquer que:

- les efforts tranchants dans les étages de la structure portique selon le sens (x) est supérieur par rapport à la structure mixte et la différence est petite, entre 16% et 23% , Car les deux structures contiennent les mêmes éléments structurels.
- les efforts tranchants dans les étages selon le sens (y) de la structure mixte (portique +voile) est supérieure à celle du structure portique pour le sens (y), la différence entre 26% et 35 % Car la structure mixte contient des voiles.
- On constate que les voiles augmentent la résistance (Les voiles augmentent la rigidité).

IV.3.4 Résultats des déplacements

Les tableaux IV.5 et IV.6 représentent les résultats des déplacements dans les étages des deux structures étudiées :

Sens x :

Déplacements (cm)			
H(m)	Portique (S1)	Mixte (S2)	Comparaison S2/S1
3.06	0,24	0,27	1.12
6.12	0,52	0,60	1.15
9.18	0,74	0,84	1.13
12.24	0,86	0,98	1.13

Tableau IV.5 : Résultats des déplacements dans les étages sens longitudinal (sens x)

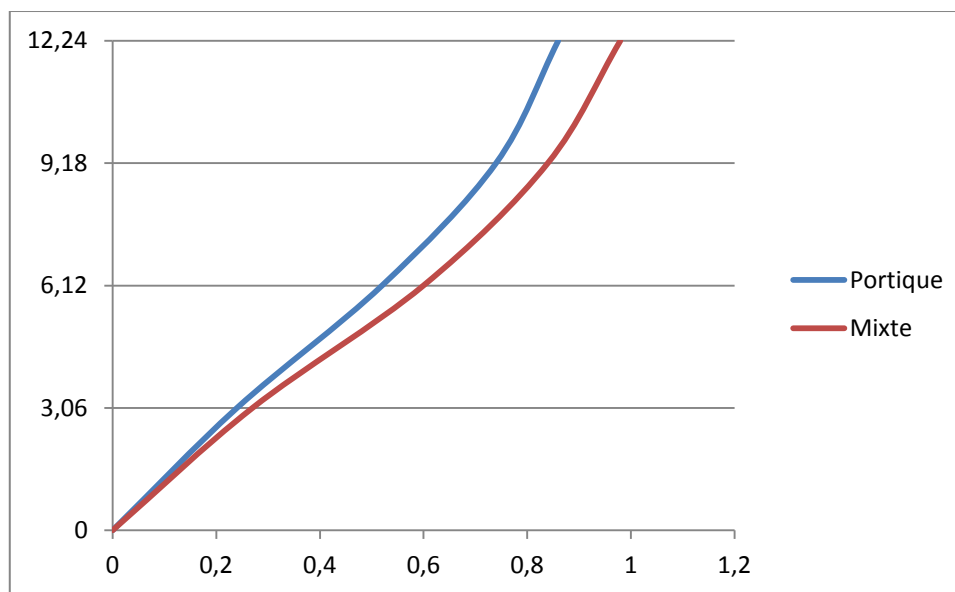


Figure IV.7 : Comparaison des déplacements de structure portique (auto stable) avec Structure mixte sens x

Sens Y :

H(m)	Déplacements (cm)		Comparaison S1/S2
	Portique (S1)	Mixte (S2)	
3.06	0,34	0,29	1.17
6.12	0,79	0,67	1.18
9.18	1,15	0,94	1.22
12.24	1,35	1,09	1.23

Tableau IV.6 : Résultats des déplacements dans les étages sens transversal (sens y)

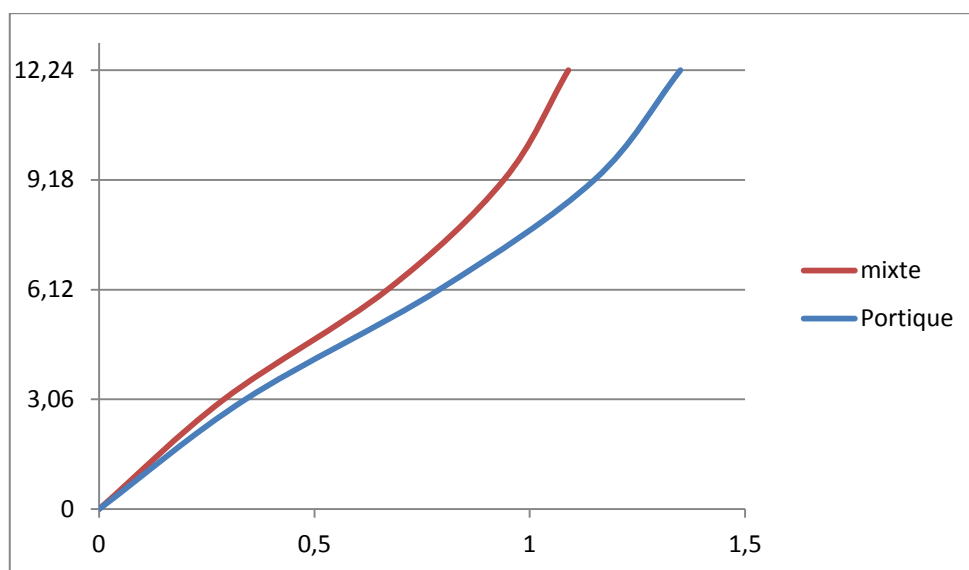


Figure IV.8 : Comparaison des déplacements de structure portique (auto stable) avec Structure mixte sens y

IV.3.4.1 Comparaison des résultats des déplacements

D'après les tableaux IV.5 et IV.6 précédent nous pouvons remarquer que:

- les déplacements dans les étages de la structure portique selon le sens (x) est supérieur para port à la structure mixtes et la déférence est petite, entre 10% et 15% , Car les deux structures contiennent les mêmes éléments structurels.
- les déplacements dans les étages selon le sens (y) de la structure mixte (portique +voile) est supérieure à celle du structure portique pour le sens (y), la déférence entre 17% et 23%Car la structure mixte contient des voiles.
- On constate que les voiles minimisent les déplacements.

IV.3.4.2 Vérification des déplacements selon l'RPA 99 version 2003

Le déplacement horizontal à chaque niveau "k" de la structure est calculé comme suit :

$$\delta_k = R\delta_{eK} \quad (IV.14)$$

δ_{eK} : Déplacement dû aux forces sismiques F_i (y compris l'effet de torsion)

R : coefficient de comportement

le déplacement relatif au niveau "k" par rapport au niveau "k-1" est égal à :

$$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1} \quad (IV.15)$$

Selon l' RPA99 version 2003, les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents, et tels que calculés selon l'équation, ne doivent pas dépasser 1.0% de la hauteur de l'étage à moins qu'il ne puisse être prouvé qu'un plus grand déplacement relatif peut être toléré.

H(m)	Déplacement total (cm)	Déplacement relatif Dk(cm)	1%H (cm)	$\Delta_K \leq 1\%H$
3.06	0,34	0.34	3.06	OK
6.12	0,79	0.45	3.06	OK
9.18	1,15	0.36	3.06	OK
12.24	1,35	0.25	3.06	OK

Tableau IV.7 : Vérification des déplacements relatifs latéraux Selon l' RPA99 version 2003, structure portique sens y.

H(m)	Déplacement total (cm)	Déplacement relatif Δ_K (cm)	1%H (cm)	$\Delta_K \leq 1\%H$
3.06	0,24	0.24	3.06	OK
6.12	0,52	0.28	3.06	OK
9.18	0,74	0.22	3.06	OK
12.24	0,86	0.12	3.06	OK

Tableau IV.8 : Vérification des déplacements relatifs latéraux Selon l' RPA99 version 2003, structure portique sens x.

H(m)	Déplacement total (cm)	Déplacement relatif Δ_K (cm)	1%H (cm)	$\Delta_K \leq 1\%H$
3.06	0,29	0.29	3.06	OK
6.12	0,67	0.38	3.06	OK
9.18	0,94	0.27	3.06	OK
12.24	1,09	0.15	3.06	OK

Tableau IV.9 : Vérification des déplacements relatifs latéraux Selon l' RPA99 version 2003, structure mixte sens y.

H(m)	Déplacement total (cm)	Déplacement relatif Δ_K (cm)	1%H (cm)	$\Delta_K \leq 1\%H$
3.06	0,27	0.27	3.06	OK
6.12	0,60	0.33	3.06	OK
9.18	0,84	0.24	3.06	OK
12.24	0,98	0.14	3.06	OK

Tableau IV.10 : Vérification des déplacements relatifs latéraux Selon l' RPA99 version 2003, structure mixte sens x.

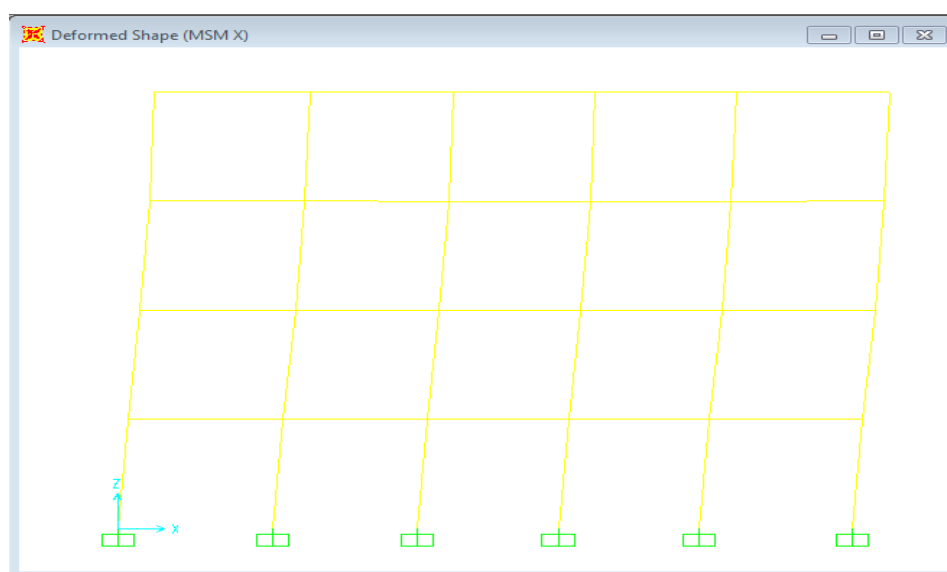


Figure IV.9 : Exemple de la Déformation d'une structure portique sens x

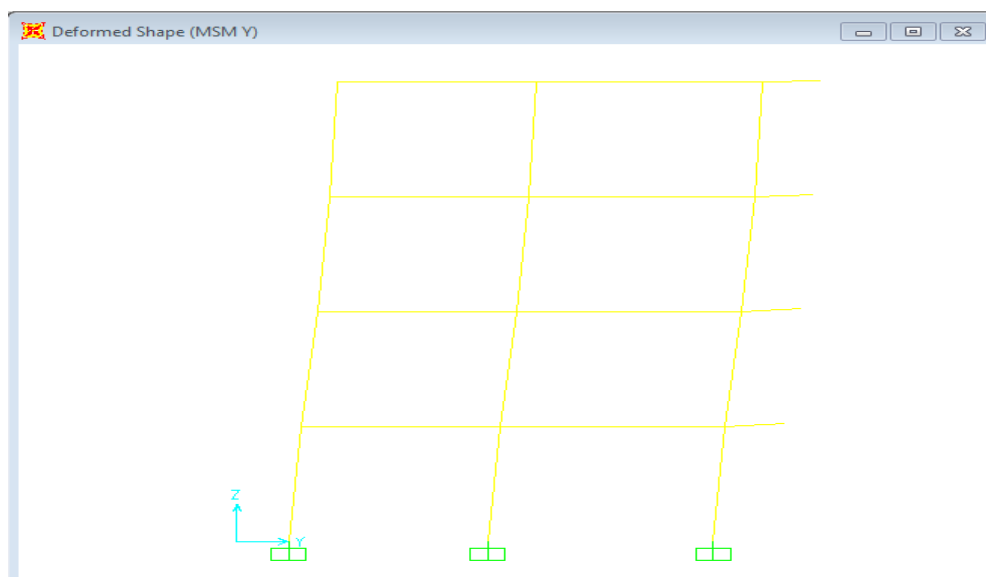


Figure IV.10 : Exemple de la Déformation d'une structure portique sens y

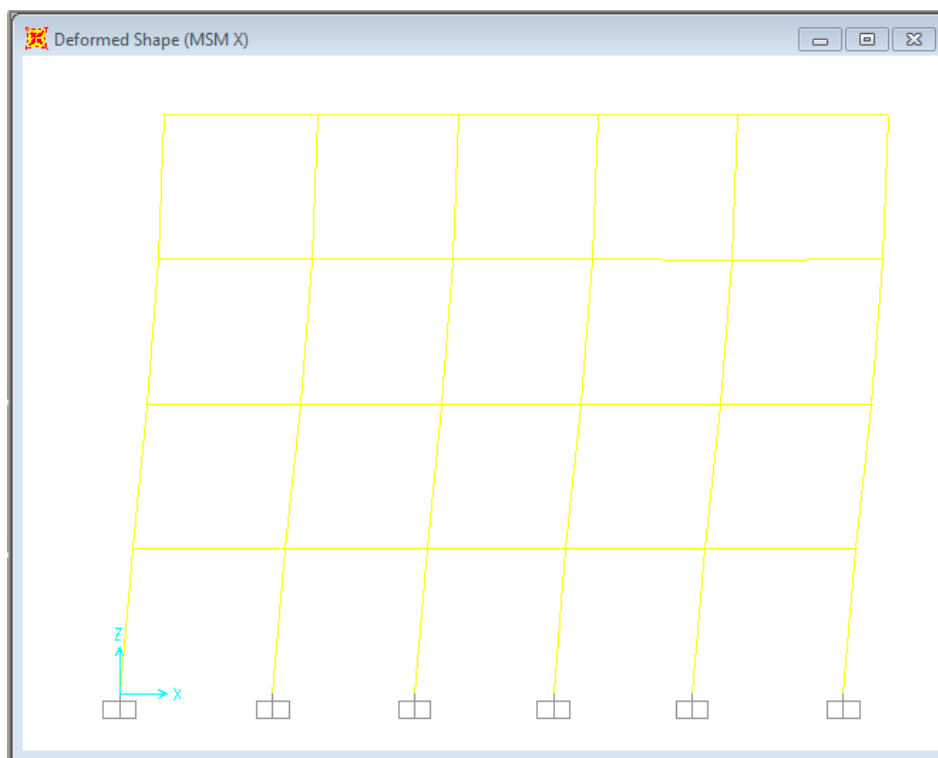


Figure IV.11 Exemple de la déformation d'une structure mixte sens x

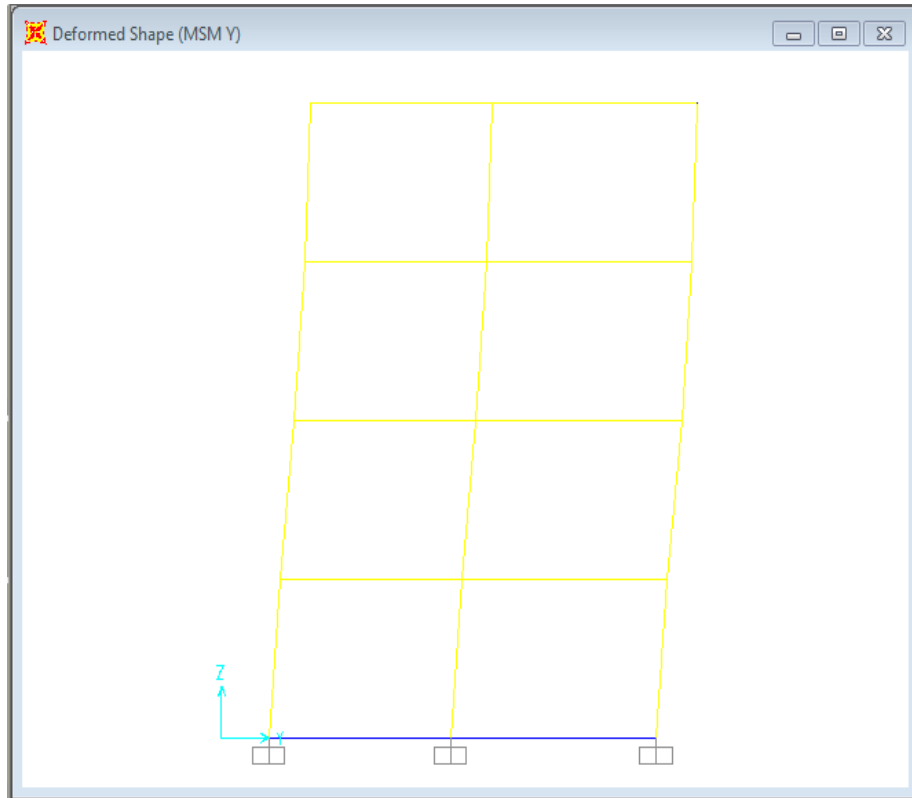


Figure IV.12 : Exemple de la déformation d'une structure mixte sens y

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons proposé la méthode de spectre de repens (méthode spectral modal) , recommandée par le RPA99 version 2003.

La méthode spectrale modale exécutée sur la structure tridimensionnelle, nous a fait ressortir les conclusions suivantes :

- La sollicitation sismique décrite sous forme d'un spectre de réponse ;
- Le comportement supposé élastique de la structure, permettant le calcul des modes propres.

Notre étude a porté sur l'influence de l'augmentation de la rigidité de la structure vis-à-vis des charges horizontales (séisme), Nous définissons les principaux paramètres nécessaires à une étude poste sismique, les différentes étapes d'analyse et les résultats sous forme de des efforts et des déplacements dans les étages. Les résultats de la modélisation montrent que :

- les efforts tranchants dans les étages de la structure portique selon le sens (x) sont presque égales à celle des structures mixtes, Car les deux structures contiennent les mêmes éléments structurels.
- les efforts tranchants dans les étages selon le sens (y) de la structures mixte(portique +voile) est supérieure à celle du structures portique pour le sens (y), Car la structure mixte structure contient des voiles.
- On constate que les voiles augmentent la résistance (Les voiles augmentent la rigidité).
- les déplacements dans les étages de la structure portique selon le sens (x) sont presque égales à celle des déplacements de la structure mixtes, Car les deux structures contiennent les mêmes éléments structurels.
- les déplacements dans les étages selon le sens (y) de la structure mixte (portique +voile) est supérieure à celle du structure portique pour le sens (y), Car la structure mixte contient des voiles.
- On constate que les voiles minimisent les déplacements.

NOTATIONS et SYMBOLES

A : coefficient d'accélération de zone

η : Facteur de correction d'amortissement (quand l'amortissement est différent de 5 %)

ξ : Pourcentage d'amortissement critique

R : coefficient de comportement de la structure

T1, T2 : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site

Q : facteur de qualité

Sa : Accélération spectrale associée au mode de vibration de période T du bâtiment

A : Coefficient d'accélération de la zone

η : facteur de correction d'amortissement pour un amortissement différent de 5%

R : coefficient de comportement de la structure

W_{Gi} : Masse relative aux charges permanentes (G)

W_{Qi} : Masse relative aux charges d'exploitation (Q)

γ_b est le coefficient de sécurité

f_{t28} : résistance limite en traction du béton

ϵ_{be} : déformation limite élastique

ϵ_{bu} : déformation ultime

E_s : Module d'élasticité de l'acier.

f_e : Résistance limite élastique de l'acier Haute adhérence

f_{es} : Résistance limite élastique de l'acier Rond lisse

ϵ_{se} : Déformation limite élastique.

ϵ_{su} : Déformation ultime.

N : Effort de compression repris par le poteau le plus sollicité

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

Notations et symboles

B_c : Section de béton du poteau.

G : Charge permanente.

Q : surcharge d'exploitation.

i : niveau.

j : mode.

W^i : poids de niveau.

γ_i : Facture de participation modale.

Φ_j^i : Déplacement modale.

RPA : Règles Parasismiques Algériennes.

δ_{ek} : Déplacement dû aux forces sismiques F_i (y compris l'effet de torsion)

R : coefficient de comportement

Référence

- [1] MAHDJOUBA Youssouf et Bouatia Boudjema comparaison de la performance sismique d'une structure auto-stable en béton armée avec une structure mixte (portiques avec voiles) université de m'sila 2017
- [2] ARIBI Messaoud contribution a l'amélioration des règles parasismiques algériennes université de m'sila 2018
- [3] RPA-99/v2003. Règles parasismiques Algériennes 1999 - Version 2003. DTR-BC 248 - CGS, Alger, 2003.
- [4] NEDJAI Alaeddine et Rouane Zakarya L'influence de l'interaction sol structure sur la réponse sismique des bâtiments (cas des bâtiments portiques en béton armée)
- [5] LARABA Abdelkarim et SALEM Khalil évaluation des dommages dans les structures en zone sismique université de m'sila 2018
- [6] HASSANI Karim Effet des séismes proches et lointains sur la performance sismique des structures auto-stables en béton armé mémoire magistère, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2013.
- [7] ABDELGHANI SEGHIR Enseignant Chercheur, Chargé de Cours Département de Génie Civil, Université A. Mira de Béjaia. Séminaire organisé par SAVOIR PLUS, 26-27 juin 2007 à Béjaia Les journées techniques et scientifiques du bâtiment et de la construction Séisme de Boumerdes du 21 Mai 2003 Pathologie de construction et dommages sismiques
- [8] KAHIL Amar évaluation de performance sismique des structures en béton armé en tenant compte de la nocivité de signale sismique univ TIZI-OUZOU
- [9] YKHLEF Habib Ghezli Imene F.Z Evaluation de la performance sismique d'une structure existante par la méthode Push-Over Université MOULAY Tahar-Saida 2017
- [10] FILALI assia étude comparative du comportement de structures en portiques en béton de sable arme après la rupture d'un poteau de base diplôme de magister en génie civil 07/2014
- [11] AGGAOUA Amirouche & LANSEUR Hamza Étude De La Réponse Sismique De Structures Par Analyse Modale Spectrale Et Analyse Dynamique Par Accélérogrammes Générés À Partir Du Spectre De Réponse Élastique Du Rpa99/2003 Université Abderrahmane Mira De Béjaia 2011/2012
- [12] MAIRECHE Walid Renane Mouad Etude d'un Bâtiment à usage d'habitation R+4 école nationale supérieure polytechnique juin 2009
- [13] DROUNA karima Evaluation des performances parasismiques des portiques en

BA renforcés par chemisage en béton armé et par bandage en CFRP Mémoire de Magistère
Présenté à l'Université de Constantine11- 2010

[14] AGRI Yamina diplômé de magister en GC université ELHADJ LAKHDAR Batna 14-
03-2007

[15] MEDJBOURI Sami BEN HANIDJAR Med RAMZI Etude d'un bâtiment(R+6) à usage
d'habitation Contreventé par voile portique 2013-2014

[16] HAMDANI Naima mémoire de magister en GC université de TIZI-OUZOU 27-07-2012