



# Mémoire de Fin d'Etudes

## Présenté au

**Département** : Génie Civil  
**Domaine** : Sciences et Techniques  
**Filière** : Génie Civil  
**Spécialité** : Conception et calcul des structures

## Réalisé par

**LAHOUAL Abderahmane**  
**GUERROUD Lakhdar**

**Pour l'obtention du diplôme de**  
**MASTER ACADEMIQUE**

## Intitulé

***Effets de caractéristiques sismiques sur les spectres de réponse***

Soutenu le : ...../06/2017  
Devant le jury de soutenance composé de :

Mr	M.BADAOU	MCB	Univ. Djelfa	Président
Mr	B.BENAHMED	MAA	Univ. Djelfa	Encadreur
Mr	H.TAREK	MAA	Univ. Djelfa	Examineur
Mr	D.HAMZA	MAA	Univ. Djelfa	Examineur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# REMERCIEMENT

Notre remerciement s'adresse en premier lieu à Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Nous adressons nos vifs remerciements à notre promoteur **Mr B.BENAHMED** a pour nous avoir diligentés tout au long de ce travail, pour sa compréhension, sa patience, sa compétence, et ces remarques qui nous ont été précieuses.

Nous tenons à remercier également, le président et les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger et d'évaluer notre travail.

Nos derniers remerciements, vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

# EFFETS DES CARACTERISTIQUES SISMIQUES SUR LES SPECTRES DE REPONSE

## RESUME

:

الهدف من هذا العمل هو دراسة آثار الخصائص الزلزالية على الاستجابة الطيفية للبنىات.

وفي هذا السياق، تم اختيار 150 تسجيل زلزالي من قاعدة البيانات PEER. يتم استخدام هذه التسجيلات لتقييم أطياف الاستجابة من أجل قيم مختلفة لتخامد.

في هذا المفهوم، يتم اختيار ثلاث مجموعات من الزلازل على أساس الشدة، الفئة الأولى ذات الشدة الموجودة ضمن المجال  $5.6 < M \leq 6.2$  و الثانية في المجال  $6.2 < M \leq 6.8$  أما الثالثة في المجال  $6.8 < M < 7.4$ . ثم يتم حساب متوسط الأطياف من قيم مختلفة من التخامد. أما بالنسبة لدراسة الثانية كانت على أساس شروط الموقع، ثلاث مجموعات من الزلازل كل منها يحتوي على 50 تسجيل زلزالي. ثم نقوم بالمقارنة بين متوسط الأطياف لكل مجموعة لقيم مختلفة من التخامد في نهاية هذا العمل. تناقش الاستنتاجات و التوقعات في ضوء هذه النتائج.

الكلمات المفتاحية : أطياف الاستجابة، التسجيلات الزلزالية، 8.

### RESUME :

Le but de travail présenté dans ce mémoire est l'étude des effets des caractéristiques sismiques sur la réponse spectrale des structures.

Dans ce cadre, 150 enregistrements sismiques sont sélectionnés à partir de base de données PEER. Ensuite, ces enregistrements sont utilisés pour l'estimation des spectres de réponses pour différentes valeurs de  $\xi$ .

Dans ce concept, trois groupes de séismes de tailles différents sont sélectionnés sur la base de classes de magnitudes, la 1<sup>er</sup> Classe est de  $5.6 < M \leq 6.2$  et la 2<sup>ème</sup> Classe de  $6.2 < M \leq 6.8$  et pour la 3<sup>ème</sup> classe d'une valeur de magnitude entre  $6.8 < M < 7.4$ . La moyenne des spectres a été calculée pour différentes valeurs d'amortissement et ensuite une comparaison a été faite. Une deuxième discussion a été faite sur la base de condition de site, trois groupes de séismes, dont chacun contient 50 enregistrements sismiques sont sélectionnés. Une comparaison entre les moyennes des spectres dans chaque groupe et pour différents valeurs d'amortissements a été faite à la fin de du travail. Des conclusions et des perspectives sont discutées à la lumière des résultats obtenus.

**Mots Clés :** les spectres de réponse, les enregistrements sismiques, la magnitude, EC8.

**ABSTRACT:**

The aim of this theme is to study the effects of seismic characteristics on the spectral response of structures.

In this context, 150 seismic records are selected from the PEER database. Then, these records are used to estimate the response spectra for different values of.

In this concept, three groups of earthquakes of different sizes are selected on the basis of classes of magnitudes, the 1st Class is  $5.6 < M \leq 6.2$  and the 2nd Class of  $6.2 < M \leq 6.8$  and for the 3rd Class of a magnitude value between  $6.8 < M < 7.4$ . The average of the spectra was calculated for different damping values and then a comparison was made. A second discussion was made on the basis of site condition, three groups of earthquakes, each of which contains 50 seismic records are selected. A comparison between the mean of the spectra in each group and for different depreciation values was made at the end of the work. Conclusions and perspectives are discussed in the light of the results obtained.

**Keywords:** response spectra, seismic records, magnitude, EC8.

# TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT .....	I
RESUME .....	II
TABLE DES MATIERES .....	IV
LISTE DES FIGURES .....	VIII
LISTE DES TABLEAUX .....	X
NOTATIONS .....	XI
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>

## CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES SEISEMES

---

1.1 Introduction .....	3
1.2 L'origine du phénomène sismique .....	3
1.2.1 Tectonique des plaques .....	3
1.2.2 La structure interne de la Terre .....	4
1.3 Les séismes (ou le tremblement de terre) .....	6
1.3.1 Notion des séismes .....	6
1.3.2 Foyer et épicentre .....	6
1.4 Les failles .....	7
1.4.1 Type des failles .....	7
1.4.1.1 Faille normal .....	8
1.4.1.2 Faille inverse .....	8
1.4.1.3 Faille décrochante .....	8
1.5 Classification des séismes .....	8
1.5.1 Les séismes superficiels .....	9
1.5.2 Les séismes intermédiaires .....	9

1.5.3 Les séismes profonds .....	9
1.6 Propagation des ondes sismiques .....	9
1.6.1 Les ondes de volumes .....	9
1.6.1.1 Ondes primaires ou ondes longitudinales (P) .....	9
1.6.1.2 Onde secondaire ou ondes de cisaillements (S) .....	10
1.6.2 Les ondes de surface .....	11
1.6.2.1 Ondes de Rayleigh (R) .....	11
1.6.2.2 Ondes de Love (L) .....	11
1.7 Caractéristiques d'un séisme .....	12
1.7.1 La magnitude (M) .....	12
1.7.2 L'intensité .....	12
1.8 La localisation des séismes .....	13
1.8.1 Les séismes inter-plaque .....	13
1.8.2 Les séismes intra-plaque .....	13
1.8.3 Les séismes liés à l'activité volcanique .....	13
1.8.4 Les séismes liés à l'activité humaine .....	14
1.9 Effets directs et induits par le séisme .....	14
1.9.1 Effets de site direct .....	14
1.9.1.1 Les effets de site topographiques .....	14
1.9.1.2 Les effets de site liés à la structure et à la nature du sol .....	14
1.9.2 Effets induits .....	15
1.9.2.1 Le phénomène de liquéfaction .....	15
1.9.2.2 Dans le cas des mouvements de terrain .....	15
1.9.2.3 Les avalanches .....	17
1.9.2.4 Les tsunamis .....	17
1.10 Les répliques .....	18
1.11 La prévision .....	18
1.12 Conclusion .....	20

## CHAPITRE 2 : LES SPECTRES DE REPONSE

---

2.1 Introduction .....	21
2.2 La réponse sismique .....	22
2.3 Spectre de réponse .....	24
2.4 Spectre de calcul .....	25
2.5 Influence du sol sur le spectre de réponse .....	27
2.6 La période .....	28
2.7 Conclusion .....	29

## CHAPITRE 3 : SELECTION DES ENREGISTREMENTS SISMIQUES

---

3.1 Introduction .....	30
3.2 Source des accélérogrammes .....	30
3.3 Sélection des enregistrements sismiques pour le calcul .....	30
3.4 Sélection des enregistrements sismiques .....	31
3.4.1 Description de base de données des enregistrements sismiques PEER .....	31
3.4.2 Présentation des enregistrements sélectionnés par catégorie de sol .....	33
3.5 Conclusion .....	38

## CHAPITRE 4 : EFFET DES CARACTERISTIQUES SISMIQUES SUR LES SPECTRES DE REPONSE

---

4.1 Introduction .....	39
4.2 Effet de caractéristiques des séismes sur les spectres de réponse .....	39
4.2.1 Effet de la magnitude sur les spectres de réponse .....	39
4.2.2 Effet des classes de sol sur les spectres de réponse .....	49
4.3 Conclusion .....	52

<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	53
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	54

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES SEISEMES

---

Figure 1.1 : La carte du monde montrant les principales plaques tectoniques .....	4
Figure 1.2 : La structure interne de la terre .....	5
Figure 1.3 : localisation de séisme .....	7
Figure 1.4 : Les types des failles sismiques .....	8
Figure 1.5 : Mouvement des particules au passage d'une onde P .....	10
Figure 1.6 : Mouvement des particules au passage d'une onde S .....	10
Figure 1.7 : Les ondes sismiques Love et Rayleigh .....	11
Figure 1.8 : La décroissance de l'intensité sismique .....	13
Figure 1.9 : Les effets liés à la structure et à la nature du sol (Remplissage de fond de vallée) ....	14
Figure 1.10 : Les effets topographiques(le sommet de butte) .....	14
Figure 1.11 : Représentation du phénomène de liquéfaction des sols .....	15
Figure 1.12 : 1 <sup>er</sup> cas de mouvement de terrain (chute du bloc) .....	16
Figure 1.13 : 2 <sup>ème</sup> cas de mouvement de terrain (glissement de terrain) .....	16
Figure 1.14 : L'effet de tsunamis sur les constructions .....	17

## CHAPITRE 2 : LES SPECTRES DE REPONSE

---

Figure 2.1 : Composante horizontale de l'accélération dans la direction nord-sud enregistrée à EL Centro en Californie .....	22
Figure 2.2 : Spectre de calcul a) spectre de déplacement Sd, b) spectre de vitesse Sv, c) spectre d'accélération Sa .....	26
Figure 2.3 : Accélérogramme de Lake Hughes (Northridge 1994) .....	28
Figure 2.4 : Influence de la période sur la réponse de l'oscillateur .....	28

## CHAPITRE 3 : SELECTION DES ENREGISTREMENTS SISMIQUES

---

Figure 3.1: L'outil présenté par PGMD pour la sélection des enregistrements sismiques .....	33
Figure 3.2: spectres de réponse des enregistrements sismiques pour le sol A .....	37

Figure 3.3: spectres de réponse des enregistrements sismiques pour le sol B .....	37
Figure 3.4: spectres de réponse des enregistrements sismiques pour le sol C .....	38

## **CHAPITRE 4 : L'EFFET DES CARACTERISTIQUES SISMQUES SUR LES SPECTRES DE REPONSE**

---

Figure 4.1 : Spectre de réponse pour la magnitude entre $5.6 < M < 6.2$ avec différentes valeurs d'amortissement .....	43
Figure 4.2 : Spectre de réponse pour la magnitude $6.2 < M < 6.8$ avec différentes valeurs d'amortissement .....	44
Figure 4.3 : Spectre de réponse pour la magnitude $6.8 < M < 7.4$ avec différentes valeurs d'amortissement .....	44
Figure 4.4 : spectre de réponse pour un amortissement = 2.5% en fonction de la magnitude .....	45
Figure 4.5 : spectre de réponse pour un amortissement = 5% en fonction de la magnitude .....	45
Figure 4.6 : spectre de réponse pour un amortissement = 7.5% en fonction de la magnitude .....	46
Figure 4.7 : spectre de réponse pour un amortissement = 10% en fonction de la magnitude .....	46
Figure 4.8 : spectre de réponse pour un amortissement = 12.5% en fonction de la magnitude .....	47
Figure 4.9 : spectre de réponse pour un amortissement = 15% en fonction de la magnitude .....	47
Figure 4.10 : spectre de réponse pour un amortissement = 20% en fonction de la magnitude .....	48
Figure 4.11 : spectre de réponse pour un amortissement = 30% en fonction de la magnitude .....	48
Figure 4.12 : Spectre de réponse pour la classe de sol A avec différentes valeurs d'amortissement .....	50
Figure 4.13 : Spectre de réponse pour la classe de sol B avec différentes valeurs d'amortissement .....	50
Figure 4.14 : Spectre de réponse pour la classe de sol C avec différentes valeurs d'amortissement .....	51

## LISTE DES TABLEAUX

### CHAPITRE 3 : SELECTION DES ENREGISTREMENTS SISMIQUES

---

Tableau 3.1 : Enregistrements sismiques pour le sol A .....	34
Tableau 3.2 : Enregistrements sismiques pour le sol B .....	35
Tableau 3.3 : Enregistrements sismiques pour le sol C .....	36

### CHAPITRE 4 : EFFET DES CARACTERISTIQUES SISMIQUES SUR LES SPECTRES DE REPOSE

---

Tableau 4.1 : Enregistrements sismiques pour le 1 <sup>er</sup> classe de magnitude $5.6 < M \leq 6.2$ .....	40
Tableau 4.2 : Enregistrements sismiques pour le 2 <sup>ème</sup> classe de magnitude $6.2 < M \leq 6.8$ .....	41
Tableau 4.3 : Enregistrements sismiques pour le 3 <sup>ème</sup> classe de magnitude $6.8 < M < 7.4$ .....	42

## NOTATIONS

- $u(t)$  : Déplacement relatif  
          : La pulsation
- $w_D$  : Pseudo pulsation
- $\ddot{u}_g$  : L'accélération du sol  
          : Coefficient d'amortissement
- $c$  : L'amortissement
- $T$  : Période de la structure
- $\dot{u}(t)$  : Vitesse relative
- $m$  : La masse
- $M_w$  : La magnitude
- $SD$  : Spectre de déplacement relatif
- $SV$  : Spectre de vitesse relatif
- $SA$  : Spectre d'accélération relatif

---

# **INTRODUCTION GENERALE**

---

## INTRODUCTION GENERALE :

L'humanité a subi de nombreuses catastrophes naturelles, notamment les séismes ou bien les tremblements de terre, ce qui est l'un des risques les plus catastrophiques, il est aussi parmi les premiers dans les pertes matérielles et humaines. Donc, il était la plus grande part des tremblements de terre en termes de recherche, afin d'éviter les risques de cette catastrophe naturelle.

Le mouvement sismique, correspond à la propagation d'une perturbation qui prend naissance à l'intérieur de l'écorce terrestre et elle est souvent de nature multiple et complexe. Le risque sismique est le plus imprévisible et aussi le plus destructif pour les bâtiments.

La ruine des structures due à ces secousses diffère d'un séisme à un autre pour plusieurs paramètres à savoir :

- Type du séisme.
- Les caractéristiques du séisme (magnitude,.....).
- Les propriétés des milieux traversés.
- La distance épacentrale.

L'évaluation du comportement structurel sous séisme est basée sur des enregistrements sous forme d'accélérogrammes qui représentent la variation de l'accélération dans une direction donnée en fonction du temps.

La représentation d'une action sismique dans le domaine du temps est insuffisante pour comprendre réellement le comportement d'une structure sous l'effet du séisme. Depuis l'introduction du spectre de réponse par Housner dans les années cinquante, son utilisation est devenu un outil indispensable dans le dimensionnement parasismique. Actuellement, le spectre de réponse est une donnée essentielle dans le processus d'évaluation des forces sismique dans la majorité des codes parasismiques [5].

Dans ce contexte, une étude de l'effet de variabilité de quelque caractéristique sismique (effet de condition de site, magnitude) sur la réponse sismique a été élaborée dans le cadre de ce travail.

Ce travail a été divisé en plusieurs chapitres qui forment l'ensemble de travail effectué. Le premier chapitre porte sur les notions générales sur les séismes, l'origine du phénomène sismique, la définition des tremblements de terre et leurs caractéristiques, les failles sismiques et leurs

types et les effets directs ou induits par le séisme. Le deuxième chapitre donne des notions de bases de construction des spectres de réponse et les différents paramètres influents ce concept fondamental dans le calcul dynamique. Le troisième chapitre est consacré à la méthode de sélection des enregistrements sismiques selon l'eurocode 8, une discussion sur la description de base de données des enregistrements sismiques PEER. Le quatrième chapitre est consacré à l'étude des effets de variation de magnitude et de classe de sol sur les spectres de réponse, dans ce concept, trois groupes de séismes de tailles différents sont sélectionnés sur la base de classes de magnitudes, la 1<sup>er</sup> Classe de  $5.6 < M < 6.2$  et la 2<sup>ème</sup> Classe de  $6.2 < M < 6.8$  et pour la 3<sup>ème</sup> classe d'une valeur entre  $6.8 < M < 7.4$ . La moyenne des spectres a été calculée pour différentes valeurs d'amortissement et ensuite une comparaison a été faite. Une deuxième discussion a été faite sur la base de condition de site, trois groupes de séismes, dont chacun contient 50 enregistrements sismiques sont sélectionnés selon l'EC8. Une comparaison entre les moyennes des spectres dans chaque groupe et pour différents valeurs d'amortissements a été faite à la fin de cette partie du travail. En fin, des conclusions et des perspectives sont tirées à la lumière des résultats trouvés.

---

# Chapitre 1

---

## GENERALITES SUR LES SEISEMES

---

## GENERALITES SUR LES SEISMES

### 1.1 Introduction :

Les séismes apparaissent comme une manifestation perceptible de phénomènes qui se poursuivent à l'échelle des temps géologiques. Il est malheureusement certain que les séismes continueront à surprendre l'homme.

Il est 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. L'aboutissement de toutes ces connaissances nous amènerons certainement à une construction parasismique [1].

### 1.2 L'origine du phénomène sismique :

Les plaques continentales et océaniques qui constituent la croûte terrestre se déplacent à la surface de la planète sous l'effet des courants thermiques qui animent le magma visqueux situé en profondeur. Ce phénomène est étudié sous le nom de « Tectonique des plaques ».

#### 1.2.1 Tectonique des plaques :

La tectonique des plaques est une théorie initiée dès la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle par Alfred Wegener et développée et structurée au début des années 70. Elle permet d'expliquer la formation et l'évolution de la croûte terrestre au cours des temps géologiques.

La croûte terrestre et le manteau supérieur rigide constituent la lithosphère terrestre. Celle-ci est découpée en plaques, appelées plaques tectoniques, qui se déplacent lentement sur le manteau supérieur plastique appelé asthénosphère. Ce manteau est en fusion partielle et permet la dérive des plaques qui reposent sur lui. Les plaques peuvent converger et entrer en collision, diverger et s'éloigner l'une de l'autre ou glisser l'une contre l'autre le long d'une faille.

C'est à la frontière des plaques que l'activité sismique est la plus intense. Les tremblements de terre sont provoqués par une rupture brutale des roches le long d'un plan de faille où se concentrent les forces tectoniques. Cette rupture génère des ondes sismiques dont le passage à travers le sol provoque des vibrations qui peuvent être ressenties à la surface [2].

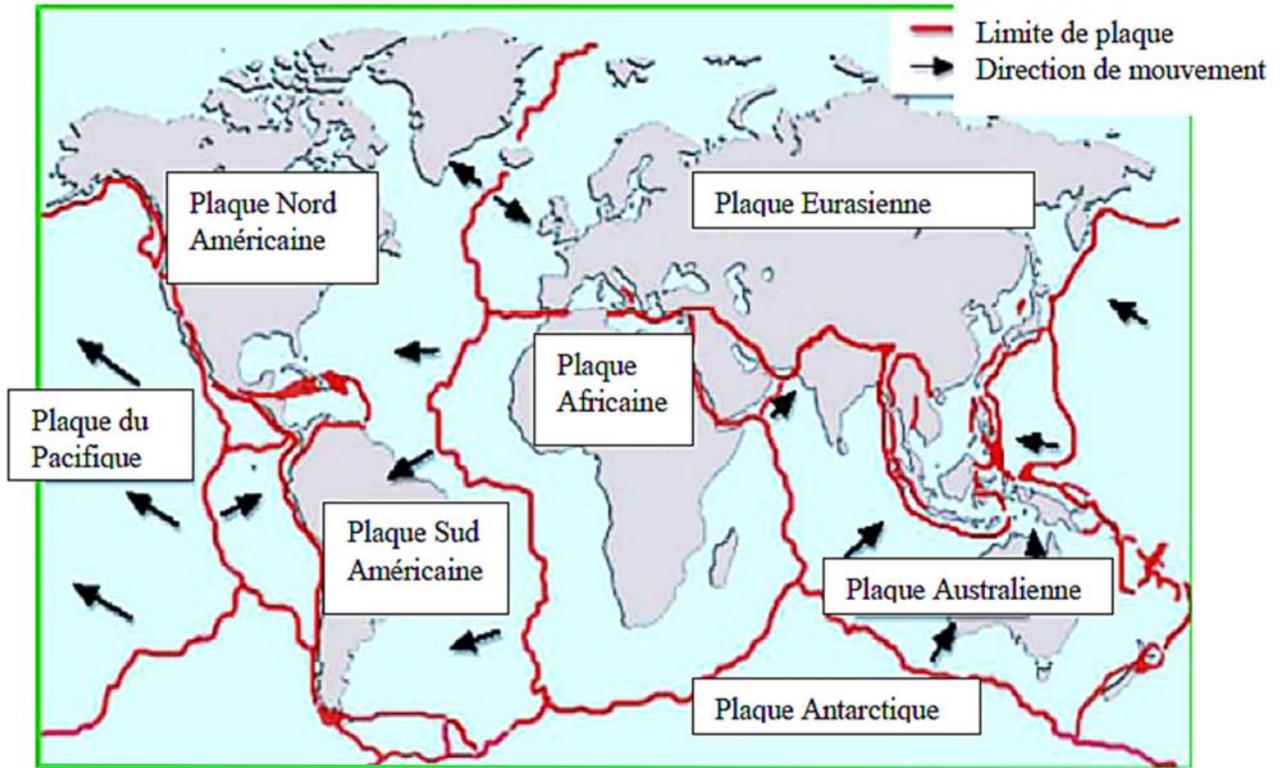


Figure 1.1 : La carte du monde montrant les principales plaques tectoniques [7].

### 1.2.2 La structure interne de la Terre :

On distingue trois parties principales : la croûte, d'épaisseur allant de 10 à 70 kilomètres, puis le manteau, qui s'étend de la base de la croûte jusqu'à une profondeur de 2900 kilomètres et enfin le noyau.

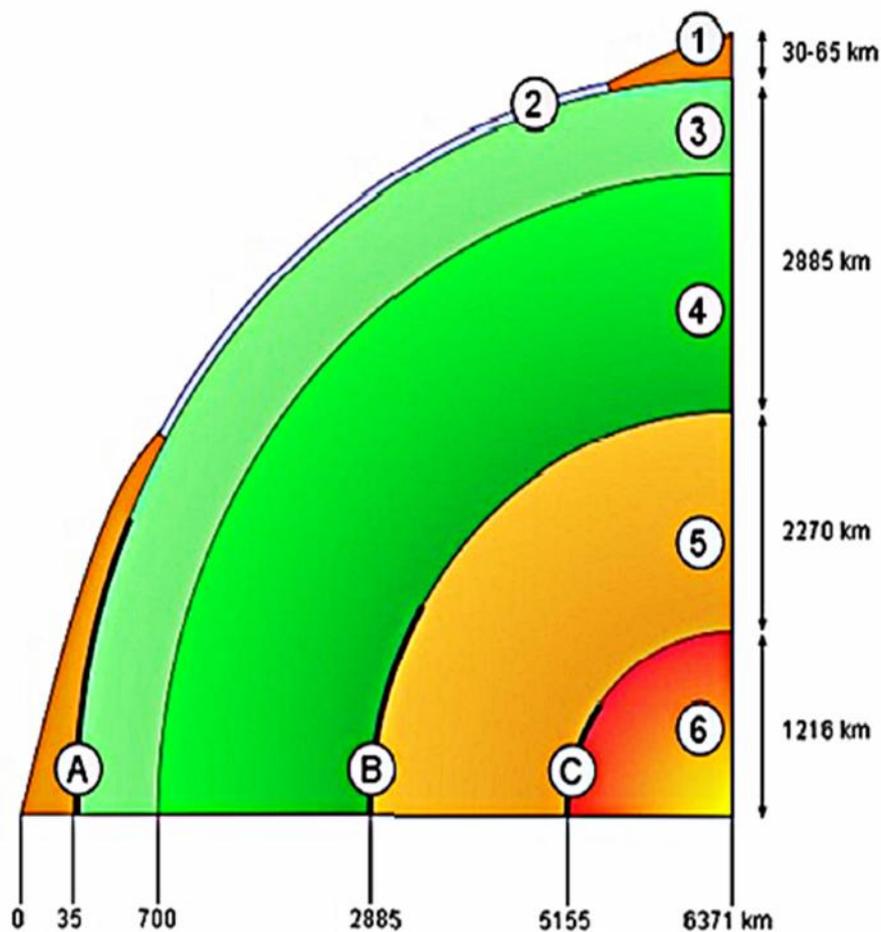
- **La croûte** (ou écorce): elle est à l'état solide. On distingue deux types de croûte, océanique et continentale.

**La croûte océanique** : se situe essentiellement sous les océans. Son épaisseur est de 5 km à 10 km en moyenne. Elle est constituée de roches basaltiques.

**La croûte continentale** : se trouve au niveau des continents. Son épaisseur est de 30 à 35 km au niveau des plaines continentales et de 50 à 65 km sous les chaînes de

montagnes. Moins dense que la croûte océanique, elle est formée de roches granitiques essentiellement.

- **Le manteau** : constitué par un manteau supérieur rigide jusqu'à 70 à 150 km, puis plastique jusqu'à 700 km de profondeur, et un manteau inférieur, solide et situé entre 700 et 2 900 km de profondeur.
- **Le noyau** : constitue la partie centrale de la Terre. Divisé en un noyau interne solide et un noyau externe liquide. Le centre de la Terre se trouve à 6 370 km de profondeur [3].



Structure de la Terre  
 1. croûte continentale 2. croûte océanique 3. manteau supérieur  
 4. manteau inférieur 5. noyau externe 6. noyau interne  
 A: Discontinuité de Mohorovicic B: Discontinuité de Gutenberg C: Discontinuité de Lehmann

**Figure 1.2** : La structure interne de la terre [3].

### 1.3 Les séismes (ou le tremblement de terre) :

A l'échelle des temps géologiques, les tremblements de terre sont des phénomènes instantanés qui résultent du glissement instable de deux compartiments de la partie supérieure de la croûte terrestre le long d'une zone de faille. La surface de faille affectée peut varier, de quelques (m<sup>2</sup>) pour les tremblements de terre les plus faibles, à plusieurs milliers de (km<sup>2</sup>) pour les séismes les plus importants.

#### 1.3.1 Notion des séismes :

Le mot séisme vient du grec seismos qui signifie « secousse ». C'est une série de secousses du sol, plus ou moins violentes, soudaines, imprévisibles et localisées. On parle également de tremblement de terre. Les séismes mettent en évidence l'activité interne de la planète Terre.

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 [4].

#### 1.3.2 Foyer et épïcentre :

Les ondes sismiques semblent provenir d'une région déterminée appelée foyer ou hypocentre du séisme. Le point de la surface du sol situé à la verticale du foyer est son épïcentre. La distance entre ce point et l'endroit d'enregistrement de l'accélérogramme est appelée distance épïcentrale [4].

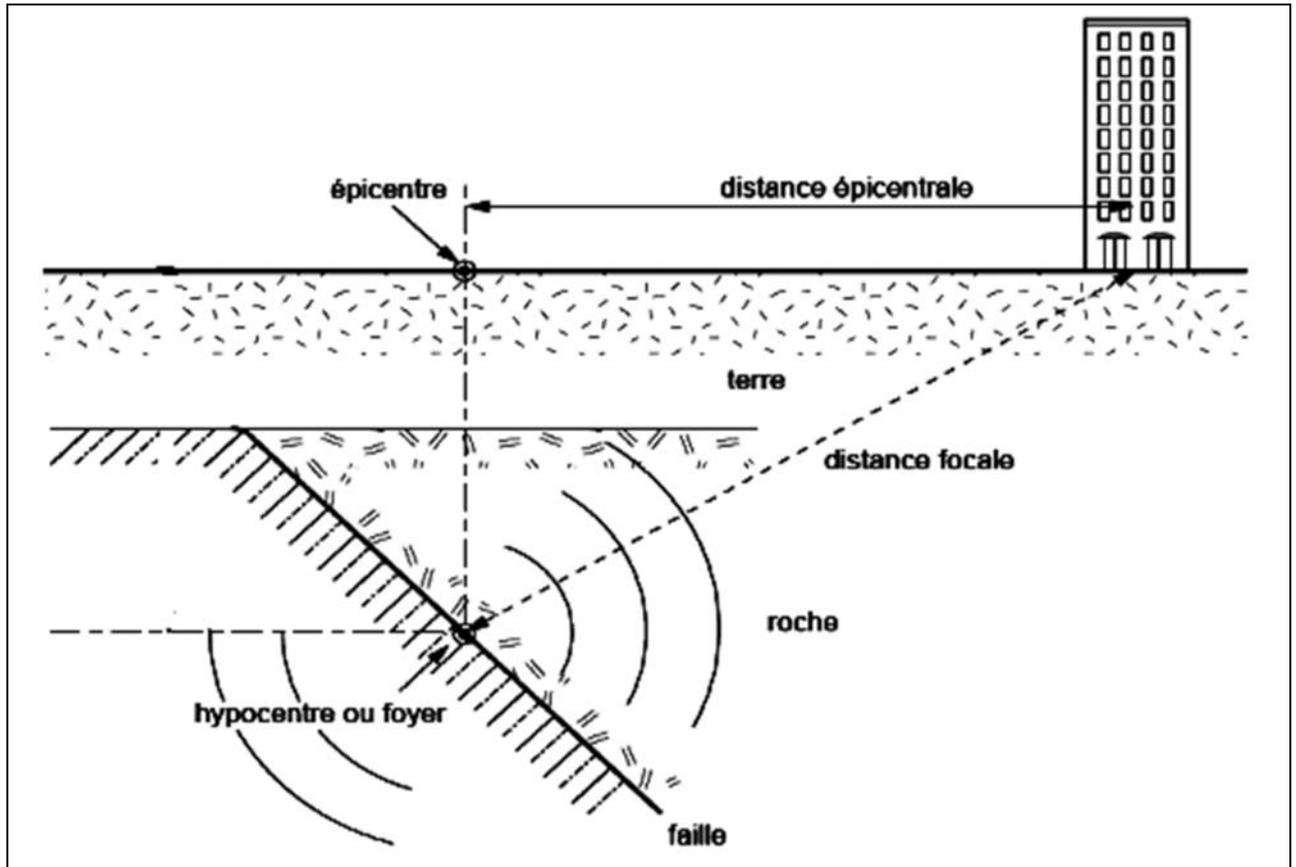


Figure 1.3 : localisation de séisme [4].

## 1.4 Les failles :

Le mouvement relatif continu des plaques tectoniques qui existe en profondeur dans la partie ductile du manteau est généralement accommodé par des ruptures successives dans la partie fragile superficielle de l'écorce terrestre. Les surfaces de ruptures sont nommées des failles tectoniques.

Une faille est donc une cassure avec déplacement de masse dans les matériaux rigides de l'écorce terrestre, en réaction à une contrainte. Les forces qui génèrent cette contrainte peuvent agir en compression, en extension ou en couple, définissant autant de types de failles [2].

### 1.4.1 Type des failles :

L'analyse des ondes sismiques permet de comprendre quel type de faille est à l'origine du séisme, de trouver l'orientation de cette faille, ainsi que la direction du Glissement sur cette faille.

### 1.4.1.1 Faille normal :

Une faille normale résulte de mouvements d'extension. La déformation entraîne un affaissement des roches initiales.

### 1.4.1.2 Faille inverse :

Une faille inverse apparaît lors de mouvements de compression. La déformation entraîne un raccourcissement des terrains initiaux.

### 1.4.1.3 Faille décrochante :

Une faille en décrochement provoque un déplacement des blocs uniquement dans le sens horizontal [2].

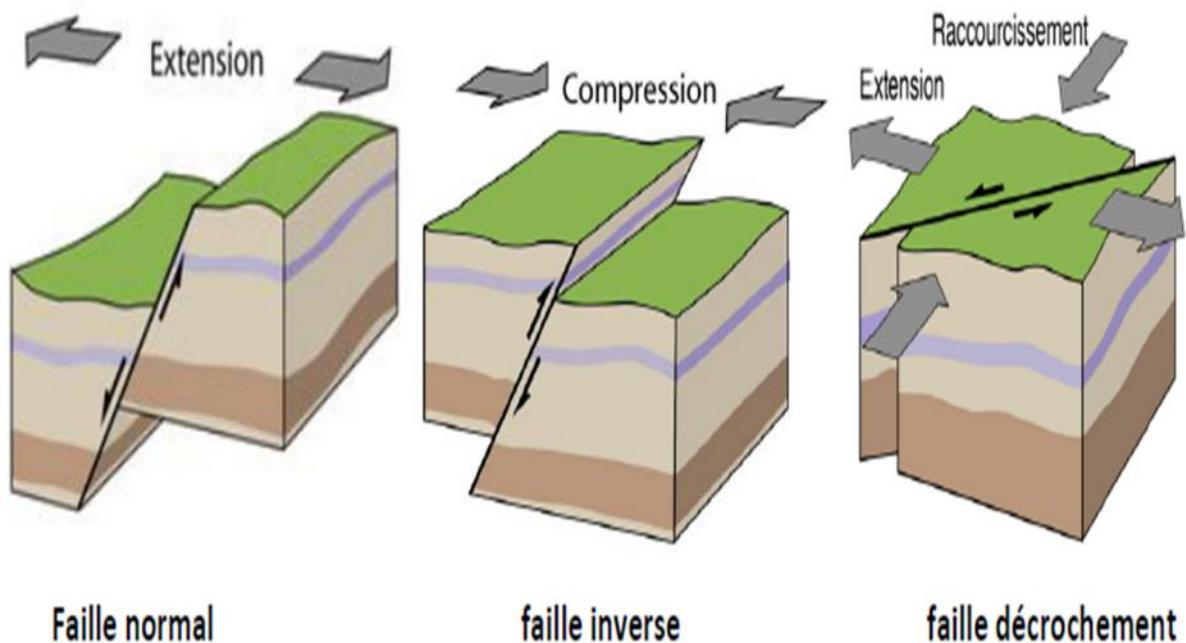


Figure 1.4 : Les types des failles sismiques [2].

## 1.5 Classification des séismes :

Le foyer ou l'hypocentre est le lieu qui constitue l'origine de l'énergie de l'ébranlement des roches. Selon la profondeur des foyers on classe les séismes en [1]:

- Les séismes superficiels.
- Les séismes intermédiaires.
- Les séismes profonds.

### **1.5.1 Les séismes superficiels :**

La croûte terrestre étant rigide, elle peut casser. Etant donné que les plaques lithosphériques ont une épaisseur moyenne d'environ 70 Km, la majorité des séismes sont évidemment superficiels c'est à dire que les foyers ne dépassent pas une profondeur de quelques dizaines de kilomètre (0 – 70 Km environ).

### **1.5.2 Les séismes intermédiaires :**

Ce sont des ébranlements dont la profondeur des foyers est comprise entre 70 et 350 Km. Cette catégorie de séismes constitue environ 25% de la totalité des séismes.

### **1.5.3 Les séismes profonds :**

Ils sont rares que les deux catégories précédentes et ne représentent qu'environ 5%. Les séismes profonds ont des foyers qui se situent entre 350 et 700 Km.

## **1.6 Propagation des ondes sismiques :**

A partir du foyer, la secousse sismique se propage sous forme d'ondes de divers type, qui compte tenu de l'hétérogénéité du sol, engendrent en surface un mouvement complexe difficilement prédictible en un site donné [1].

On peut distinguer les types d'ondes suivants :

### **1.6.1 Les ondes de volumes :**

#### **1.6.1.1 Ondes primaires ou ondes longitudinales (P) :**

Ce type d'ondes fait osciller les ouvrages d'avant en arrière dans la même direction que leur propagation, elles induisent donc, un mouvement vertical dans les ouvrages. Ce mouvement sera d'autant plus important que l'ouvrage se trouve à proximité de l'épicentre. Elles se propagent dans la croûte terrestre avec une vitesse de 6 à 8 km/s et s'accompagnent d'un changement de volume. (Compression et dilatation alternées).

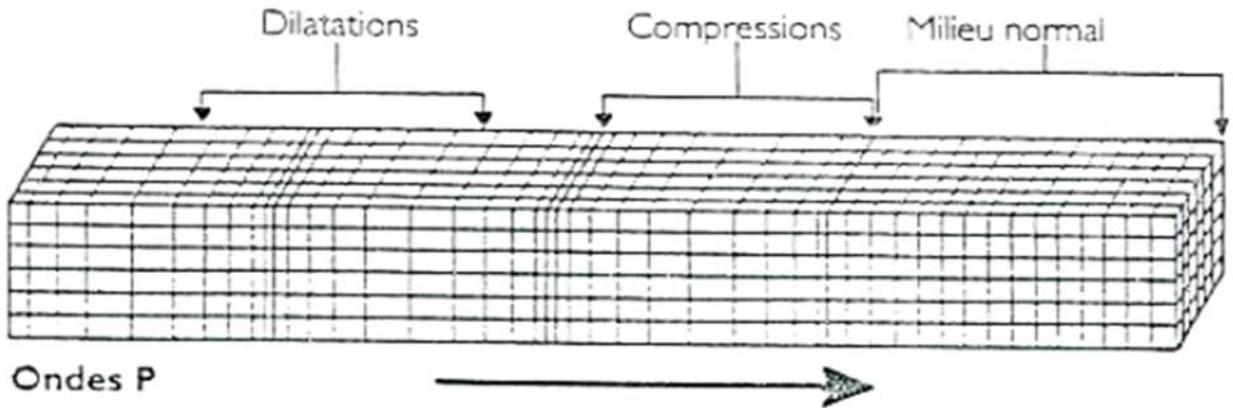


Figure 1.5 : Mouvement des particules au passage d'une onde P [4].

### 1.6.1.2 Onde secondaire ou ondes de cisaillements (S) :

Elles se propagent dans la croûte terrestre, avec une vitesse d'environ 3 à 5 km/s et s'accompagnent d'une distorsion dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation, provoquant un cisaillement sans changement de volume. C'est bien ce type d'ondes qui produit un mouvement horizontal dans les ouvrages.

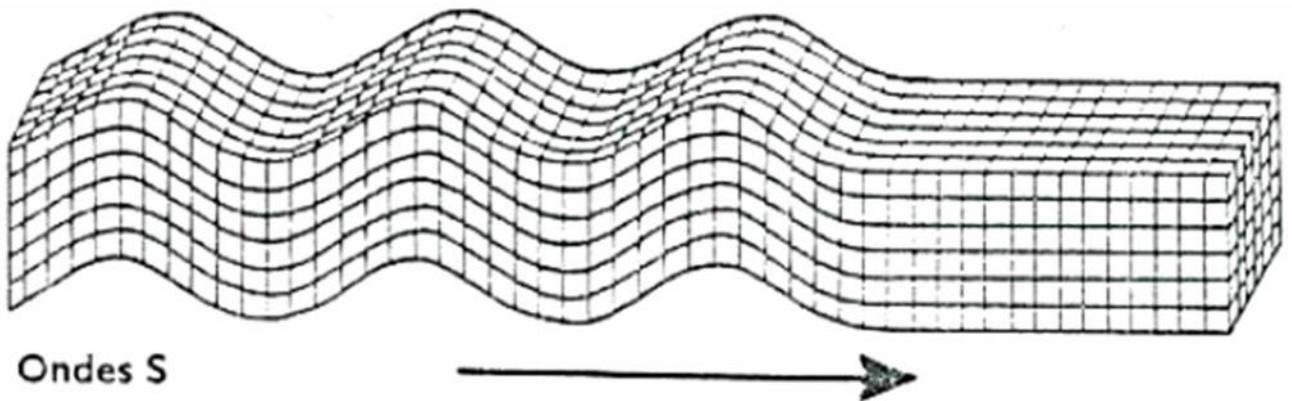


Figure 1.6 : Mouvement des particules au passage d'une onde S [4].

Les ondes P se propagent toujours à plus grande vitesse que les ondes S, ainsi quand un tremblement de terre se produit, les ondes P sont les premières à se manifester et à être enregistrées dans les observatoires sismologiques du monde entier.

## 1.6.2 Les ondes de surface :

Les ondes de volume qui arrivent à la surface de la terre donnant naissance à des ondes de surface de deux types :

### 1.6.2.1 Ondes de Rayleigh (R) :

Ce sont des ondes pour lesquelles les points du sol décrivent des ellipses dans le plan vertical et dans le sens rétrograde. Ce mouvement entraîne des compressions ou des tractions, ainsi que des cisaillements dans le sol.

### 1.6.2.2 Ondes de Love (L) :

Ce sont des ondes pour lesquelles les points du sol se déplacent dans un plan tangent à la surface et perpendiculairement à la propagation. Leur mouvement n'engendre que des contraintes de cisaillement.

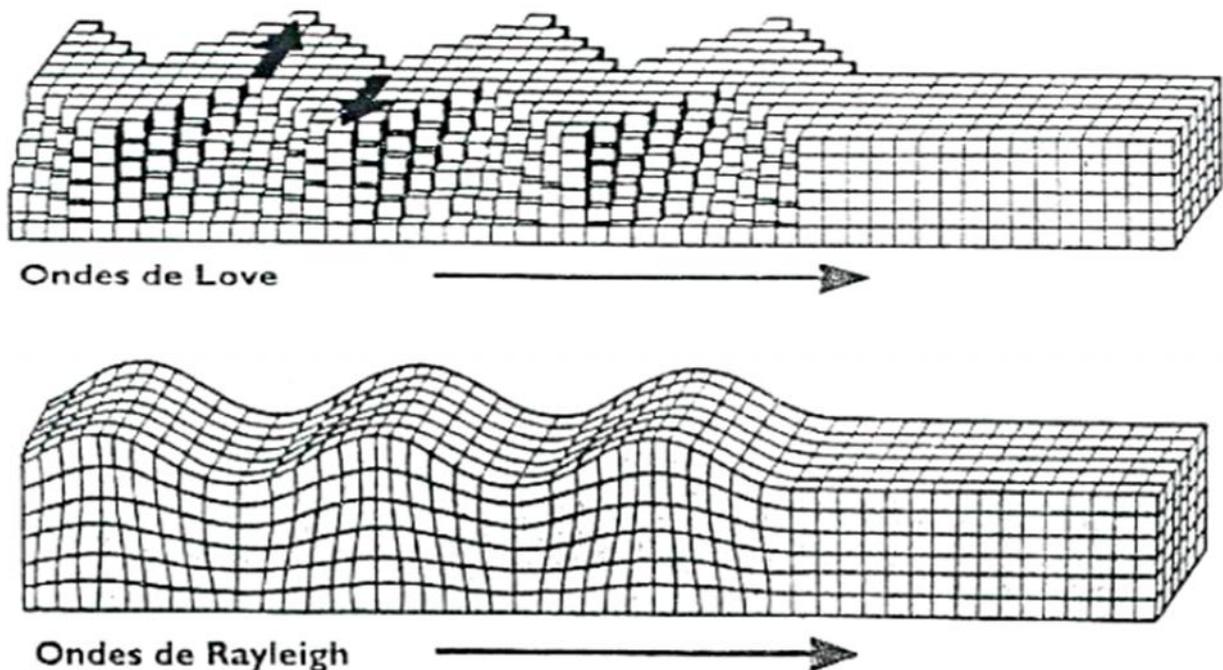


Figure 1.7 : Les ondes sismiques Love et Rayleigh [4].

## 1.7 Caractéristiques d'un séisme :

Le mouvement sismique est souvent caractérisé par [5]:

### 1.7.1 La magnitude (M):

La notion 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 épiscopentrale.

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 situés à des distances quelconques de l'épicentre.

La notion de magnitude est incomparablement supérieure à celle d'intensité, pour un même tremblement de terre.

### 1.7.2 L'intensité :

L'intensité d'un séisme est définie en un lieu par rapport aux effets produits par ce séisme, qu'ils soient seulement observés ou ressentis par l'homme (réveil, chute d'objets, fissures ...) ou qu'ils aient causés des dégâts plus ou moins importants aux constructions.

L'intensité d'un séisme dépend du lieu d'observation des effets causés par le séisme. Elle décroît généralement lorsqu'on s'éloigne de l'épicentre du séisme mais varie aussi selon la structure géologique. Une forte intensité est souvent associée à des zones de roches molles (sable, vase, argile et remblais), alors qu'on note une faible intensité dans des zones de roches plus solides (grès).

Plusieurs échelles d'intensité ont été définies. Les plus utilisées sont l'échelle de Mercalli qui date de 1902 et qui a été modifiée en 1956 et l'échelle MSK créée en 1964, du nom des trois sismologues européens Medvedev, Sponheuer et Karnik. Ces deux échelles comportent douze degrés notés généralement en chiffres romains de I à XII. Le degré I correspond aux secousses les plus faibles, à peine ressenties, le degré XII aux secousses les plus fortes, celles ayant entraîné une destruction totale des bâtiments.

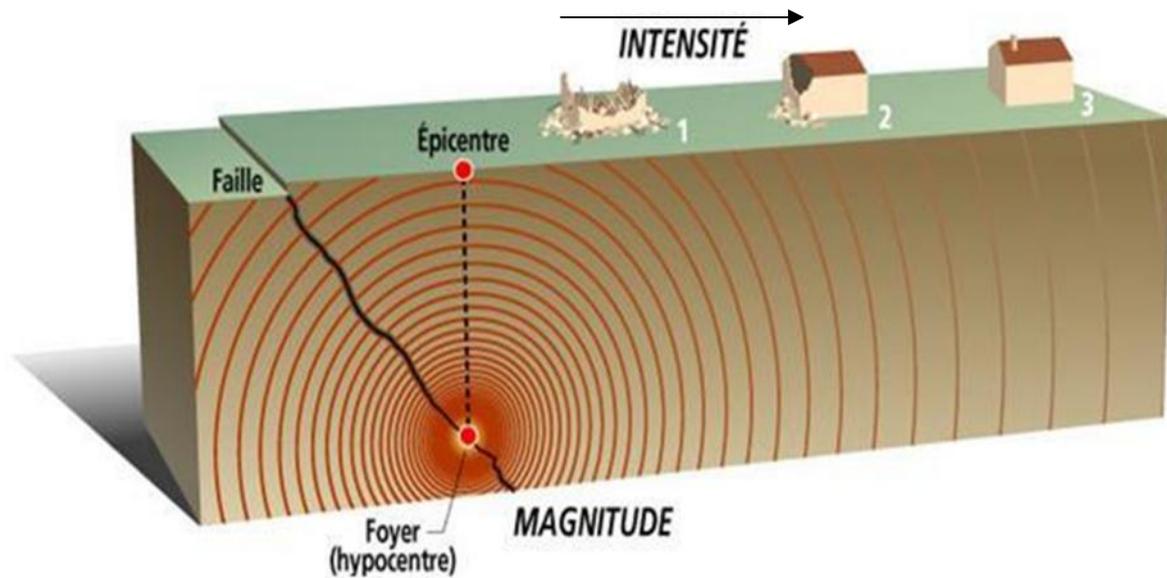


Figure 1.8 : la décroissance de l'intensité sismique [6].

## 1.8 La localisation des séismes :

L'activité sismique est principalement liée à la tectonique des plaques [6].

### 1.8.1 Les séismes inter-plaque :

Dans la majorité des cas, les séismes se déclenchent en limite de plaques. C'est en effet au niveau de ces contacts que les contraintes occasionnées par la dérive des continents sont les plus fortes. Séismes et volcanisme sont souvent associés sur ces limites de plaques.

### 1.8.2 Les séismes intra-plaque :

Même à l'intérieur des plaques tectoniques, des failles peuvent jouer et occasionner des séismes. Généralement moins violents que les précédents, ils correspondent à des réajustements des pressions dans la croûte terrestre.

### 1.8.3 Les séismes liés à l'activité volcanique :

Les éruptions volcaniques, autre phénomène associé à la tectonique des plaques, occasionnent une multitude de séismes. Ces derniers peuvent permettre de prédire l'imminence d'une éruption.

### 1.8.4 Les séismes liés à l'activité humaine :

Certaines activités humaines peuvent occasionner des séismes, généralement modérés. Il s'agit notamment de la mise en eau des barrages ou de l'exploitation des gisements souterrains (gaz, minerais, .....etc.).

## 1.9 Effets directs et induits par le séisme :

### 1.9.1 Effets de site directs :

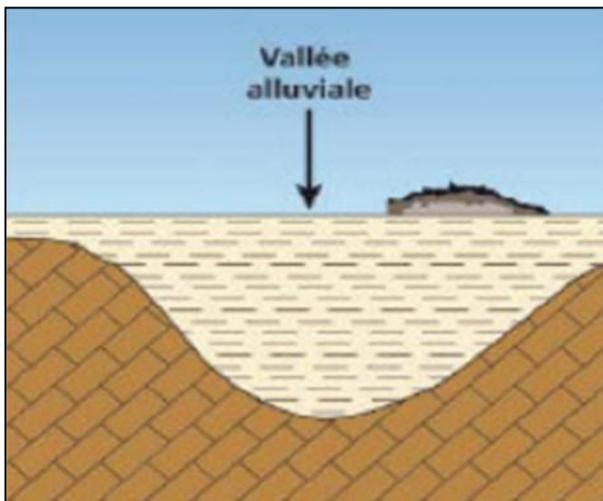
Il s'agit d'une amplification des ondes sismiques directement liée à la configuration topographique ou géologique du site. Les ondes sismiques se trouvent piégées dans la structure. On en distingue deux types [2] :

#### 1.9.1.1 Les effets de site topographiques :

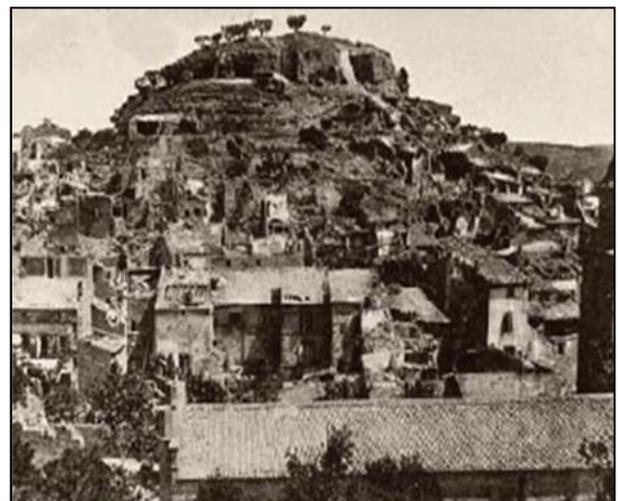
Les sommets de butte, crêtes allongées, rebords de plateaux et de falaises sont le siège d'amplification importante du mouvement sismique.

#### 1.9.1.2 Les effets de site liés à la structure et à la nature du sol :

Les caractéristiques mécaniques (densité, rigidité), la géométrie des formations (remplissage de fond de vallée) peuvent accentuer les effets du mouvement sismique.



**Figure 1.9** : les effets liés à la structure et à la nature du sol (remplissage de fond de vallée) [2].



**Figure 1.10** : les effets topographiques (le sommet de butte) [2].

## 1.9.2 Effets induits :

Il s'agit de l'apparition d'un phénomène dont la naissance est déclenchée par la vibration sismique [2].

### 1.9.2.1 Le phénomène de liquéfaction :

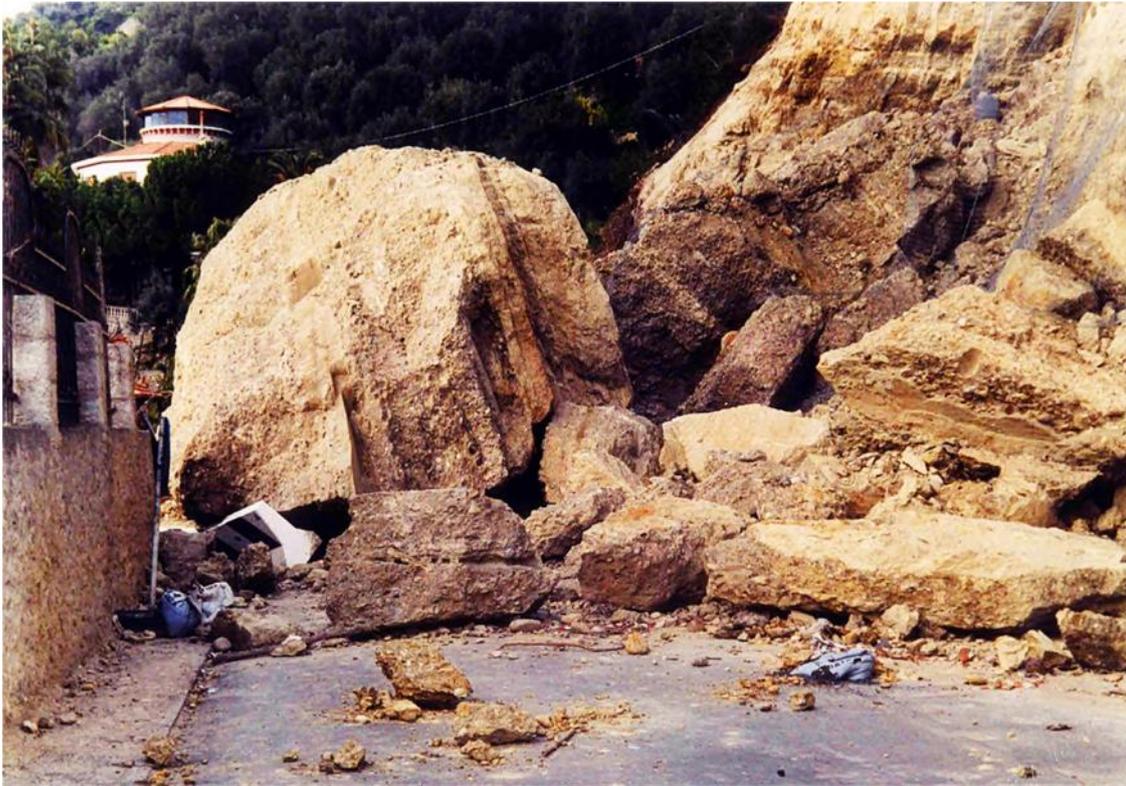
C'est un phénomène momentané. Il concerne les milieux granulaires (sableux ou limoneux) gorgés d'eau, l'agitation sismique peut provoquer un tassement rapide des sédiments, l'eau contenue dans les sédiments va alors être expulsée. Et cette action se traduit par la déstructuration du sol. Les constructions reposant sur des sols soumis au phénomène vont être particulièrement instables.



**Figure 1.11** : Représentation du phénomène de liquéfaction des sols.

### 1.9.2.2 Dans le cas des mouvements de terrain :

Les séismes peuvent provoquer des instabilités de terrain. Le plus souvent, la vibration sismique agit en tant que facteur déclenchant pour des terrains dont l'instabilité était le plus souvent latente. Les mouvements de terrain concernés peuvent être: des chutes de blocs, des glissements de terrain.



**Figure 1.12 :** 1<sup>er</sup> cas de mouvement de terrain (chute du bloc).



**Figure 1.13 :** 2<sup>ème</sup> cas de mouvement de terrain (glissement de terrain).

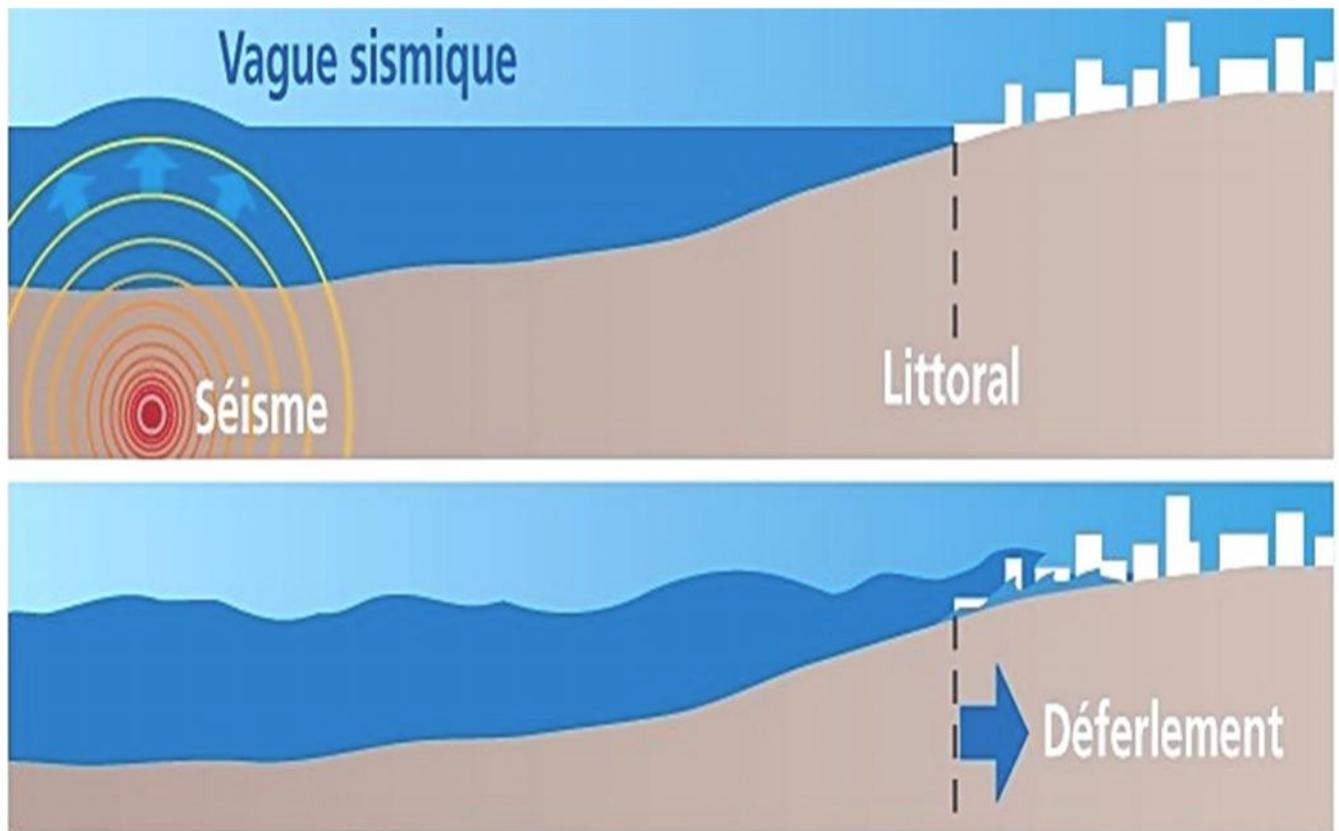
### 1.9.2.3 Les avalanches :

Selon le même principe, un séisme peut être le déclencheur d'avalanches. La cohésion du manteau neigeux ou des couches de neige entre elles peut être rompue par la vibration.

### 1.9.2.4 Les tsunamis :

Les séismes, s'ils se produisent dans la mer ou à proximité de la côte, peuvent être à l'origine de raz-de-marée ou tsunamis. La plus importante caractéristique d'un tsunami est sa capacité à se propager à travers tout un océan.

Des côtes situées à des milliers de kilomètres de l'épicentre peuvent être frappées, et cela de manière très meurtrière et dévastatrice.



**Figure 1.14 :** L'effet de tsunamis sur les constructions [2].

## 1.10 Les répliques :

Après la secousse principale d'un séisme, elle est suivie, dans des cas, d'une série de séisme, nombreux et échelonnés dans certains cas les répliques peuvent être aussi violentes que la secousse principale.

Cependant dans la majorité des cas les répliques sont moins intenses que le choc principal. Elles peuvent durer des semaines, voir même des années.

Les répliques peuvent aussi causer des dégâts, en faisant détruire les maisons qui sont touchées par la secousse principale, et peuvent entraîner des blessés et même des victimes. La majorité des géologues et des géophysiciens s'accordent à dire que les répliques résultent du fait de l'interdépendance des équilibres des régions voisines, le jeu de la faille affecte les zones avoisinantes, là de nouvelles déformations prennent naissance et les couches géologiques seront dérangées de leur position d'équilibre. Elles seront également décomprimées, et ne trouve leur position d'équilibre qu'après des soubresauts s'amenuisant et devenant de moins en moins fréquents dans le temps.

Les épicentres des répliques ne coïncident pas forcément avec l'épicentre du choc principal. Les observateurs montrent que les épicentres des répliques peuvent migrer aussi bien horizontalement que verticalement, toutefois ils restent localisés en voisinage des failles qu'avaient engendrées le séisme principal [7].

## 1.11 La prévision :

Prévoir un séisme, c'est savoir quand, ou et de quelle violence seront les prochaines secousses sismiques. La prédication est difficile à réaliser car les séismes forment un phénomène très complexe et il y a beaucoup de paramètres qui échappent encore aux scientifiques. La prévision peut être à long terme et la prédication à court terme.

Concernant la prédiction à long terme, il est possible d'observer l'histoire sismique d'une région. Sur une faille active, plus la période d'inactivité sismique est longue, plus la situation prête à inquiétude, en effet cela implique une accumulation d'énergie qui être délivrée à un moment inattendu. Grace aux satellites, on peut étudier avec une très grande précision les mouvements des différentes plaques tectoniques, et reproduire les zones où règne une certaine tension dans le sol.

Prédire un séisme peut évidemment sauver des milliers de personnes, mais pose également énormément de problèmes techniques et administratifs : peut-on évacuer des dizaines de milliers de personnes pendant des années uniquement sur un facteur potentiel. En tout état de causes et jusqu'à l'heure actuelle aucun modèle disponible n'est capable de prédire avec exactitude la date d'un séisme.

La prévision à court terme consiste à étudier les éléments précurseurs d'un séisme et les interpréter de manière réaliste. Ces prévisions permettent d'obtenir des informations plus ou moins précises par rapport à la magnitude du futur séisme et surtout le moment où il frappe [7].

## 1.12 Conclusion:

Les séismes sont des phénomènes dévastateur qui résulte d'un mouvement des plaques tectoniques qui sont ressentis jusqu'à la surface de la terre et peut provoquer beaucoup de dégât. Il est impossible d'empêcher leurs apparitions. Beaucoup de scientifiques et de sismologues étudient ce phénomène pour essayer de les prévoir.

L'utilisation des outils sismographiques nous pouvons détecter un séisme. Il est possible de découvrir la façon contre les effets dévastateurs du séisme, par exemple en modifiant la construction des bâtiments pour qu'ils respectent les normes parasismiques. L'avenir permettra de prévoir les séismes avec une précision extrême mais une étude très approfondie est nécessaire. Ainsi l'homme pourra enfin faire face à un tremblement de terre.

---

# **Chapitre 2**

---

## **LES SPECTRES DE REPONSE**

---

## LES SPECTRES DE REPONSE

### 2.1 Introduction :

Parmi les catastrophes naturelles dont les conséquences directes et indirectes semblent les plus néfastes, les tremblements de terre viennent en première ligne en particulier pour les zones vulnérables comme le sont les zones fortement urbanisées. Face à une telle catastrophe humaine et économique, les êtres humains se sont mobilisés depuis longtemps pour la protection des vies humaines et la limitation des dommages matériels.

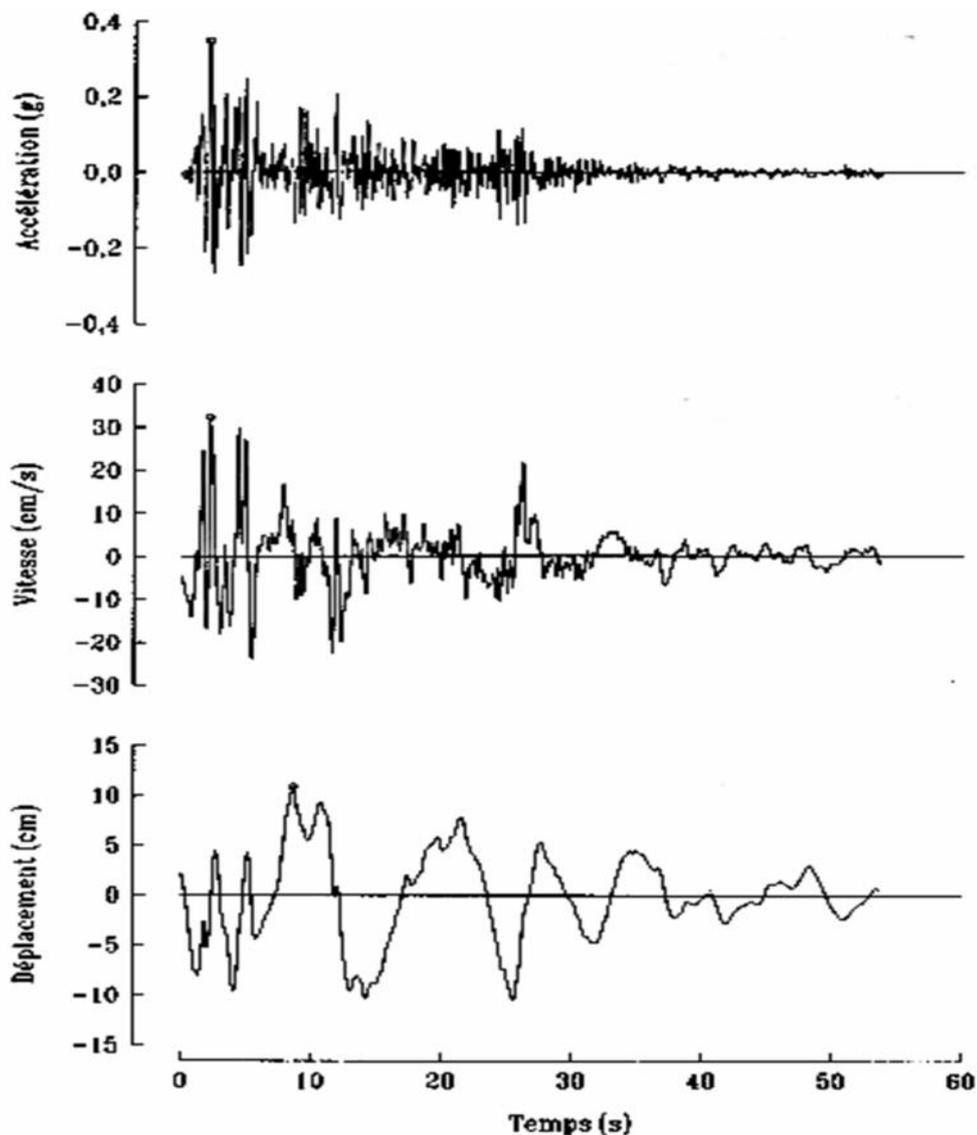
Malheureusement, il n'existe à l'heure actuelle aucun moyen fiable de prévoir où, quand et avec quelle puissance se produira un séisme. Les recherches sur la construction parasismique constituent un axe particulièrement important pour la prévention du risque sismique. Elle consiste à trouver de nouvelles méthodes et techniques de génie civil permettant aux constructions de résister au mieux aux tremblements de terre. Pour cela, une bonne connaissance du comportement des structures sous sollicitations sismiques est très importante.

L'objet de ce chapitre est, de faire ressortir les notions de base de calcul dynamique, qui constituent l'arrière-plan théorique indispensable pour prévoir correctement les conséquences d'une conception donnée, sur le comportement sismique des structures. Les sismographes, recueillent ces vibrations sous la forme d'accélération du sol en fonction du temps [15].

## 2.2 La réponse sismique :

La réponse à un tremblement de terre d'un bâtiment d'un étage, assimilable à un système élémentaire, peut être obtenue à partir de l'intégrale de Duhamel ou de toute autre méthode d'intégration numérique. Notant que la force effective due à un tremblement de terre est donnée par le produit de masse  $m$ , par l'accélération du sol,  $\ddot{u}_g(t)$  C'est-à-dire  $p(t) = -m\ddot{u}_g(t)$ , d'après l'intégrale de Duhamel, on obtient [8]:

$$u(t) = -\frac{1}{w_D} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\zeta \omega(t-\tau)} \sin(w_D(t-\tau)) d\tau \quad (2.1)$$



**Figure 2.1 :** Composante horizontale de l'accélération dans la direction nord-sud enregistrée à EL Centro, en Californie [8].

L'historique de la vitesse relative est obtenu par dérivation de [8] (2.1)

$$\dot{u}(t) = - \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\zeta \omega(t-\tau)} \cos w_D(t-\tau) d\tau + \frac{\zeta \omega}{w_D} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\zeta \omega(t-\tau)} \sin w_D(t-\tau) d\tau \quad (2.2)$$

Pour trouver l'expression de l'accélération totale, écrivons l'équation de mouvement d'un système élémentaire à un mouvement de base

$$m \ddot{u}(t) + c \dot{u}(t) + k u(t) = 0 \quad (2.3)$$

Où  $\ddot{u}(t)$  est l'accélération totale de la masse  $m$ , cette équation peut se mettre sous la forme suivante :

$$\ddot{u}(t) = -2\zeta \omega \dot{u}(t) - \omega^2 u(t) \quad (2.4)$$

L'historique de l'accélération totale s'obtient en substituant les équations (2.1) et (2.2) dans l'équation (2.4). Nous avons :

$$\ddot{u}(t) = \frac{w(1-2\zeta^2)}{\sqrt{1-\zeta^2}} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\zeta \omega(t-\tau)} \sin w_D(t-\tau) d\tau + 2\zeta \omega \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\zeta \omega(t-\tau)} \cos w_D(t-\tau) d\tau \quad (2.5)$$

### 2.3 Spectre de réponse :

Lors d'un dimensionnement sismique d'une structure, les ingénieurs ne s'intéressent qu'à la valeur maximum de la réponse de cette structure.

Le spectre de réponse, n'est représentatif d'aucun mouvement sismique réel mais donnera la réponse la plus défavorable du système. Il permet par une simple lecture d'évaluer le déplacement maximum, donc l'effort maximal.

Pour ce raison le spectre de réponse est utilisé pour caractériser l'effet des tremblements de terre sur les structures. Par contre, le spectre ne fournit pas la valeur du temps à laquelle se produit le déplacement maximum, pour certaines applications, on doit donc recourir à l'emploi direct de l'accélérogramme. Pour un paramètre de réponse quelconque, On a :

$$r_{max} = \max_t (|r(t)|) \quad (2.6)$$

Où l'indice max désigne la valeur maximum de la réponse dans le temps. Pour un système élémentaire, la courbe de la valeur maximum d'un paramètre de réponse quelconque (déplacement, vitesse ou accélération) en fonction de la période naturelle où fréquence est appelée un spectre de réponse. Les spectres de réponse sont définis par les expressions suivantes [9]:

Spectre de déplacement relatif

$$SD(\omega_D, \xi) = \max_t |u(t, \omega_D, \xi)| \quad (2.7)$$

Spectre de vitesse relative

$$SV(\omega_D, \xi) = \max_t |\dot{u}(t, \omega_D, \xi)| \quad (2.8)$$

Spectre d'accélération absolue

$$SA(\omega_D, \xi) = \max_t |\ddot{u}(t, \omega_D, \xi)| \quad (2.9)$$

Pour un séisme, les spectres de réponse sont donc des fonctions de la fréquence et de l'amortissement. Ils sont représentées sous forme de graphes pour des taux d'amortissement donnés sur une large bande de fréquences. Pour une fréquence naturelle et un taux d'amortissement donnés, la valeur de déplacement relatif maximum est obtenue par l'équation suivante :

$$SD(\omega, \xi) = \max_t \left| -\frac{1}{\omega_D} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau \right| = \max_t |D(t)| \quad (2.10)$$

Dans laquelle  $D(t)$  est l'historique du déplacement relatif de la masse donné par l'équation (2.1).

$$D(t) = -\frac{1}{\omega_D} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau \quad (2.11)$$

De même, pour une fréquence et un taux d'amortissement donnés, la vitesse relative maximum est obtenue par l'expression suivante :

$$SV(\omega_D, \xi) = \max_t \left| -\int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \cos \omega_D(t-\tau) d\tau + \frac{\xi\omega}{\omega_D} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau \right| \quad (2.12)$$

Et l'accélération absolue maximum est obtenue de l'équation :

$$SA(\omega_D, \xi) = \max_t \left| \frac{\omega(1-2\xi^2)}{\sqrt{1-\xi^2}} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau + 2\xi\omega \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \cos \omega_D(t-\tau) d\tau \right| \quad (2.13)$$

Pour construire les spectres de réponse, on évalue les intégrales des expressions précédentes pour un tremblement de terre et une valeur d'amortissement donnés et un grand nombre de fréquences (périodes) naturelles [8].

## 2.4 Spectre de calcul :

Lorsqu'il s'agit de déterminer le spectre de réponse à prendre en compte pour le calcul des ouvrages en un site donné, il est bien entendu exclu d'utiliser un seul accélérogramme, même si par chance il a été enregistré au voisinage du site.

Il convient donc de déterminer un spectre de calcul qui sera l'enveloppe d'un ensemble de spectres correspondant à des accélérogrammes convenablement enregistrés dans des sites comparables au site étudié.

Les accélérogrammes utilisés résultent de séismes d'importances différentes et les spectres de réponse que l'on déduit ne sont pas directement comparables. Les spectres ainsi obtenus sont alors appelés spectres normalisés.

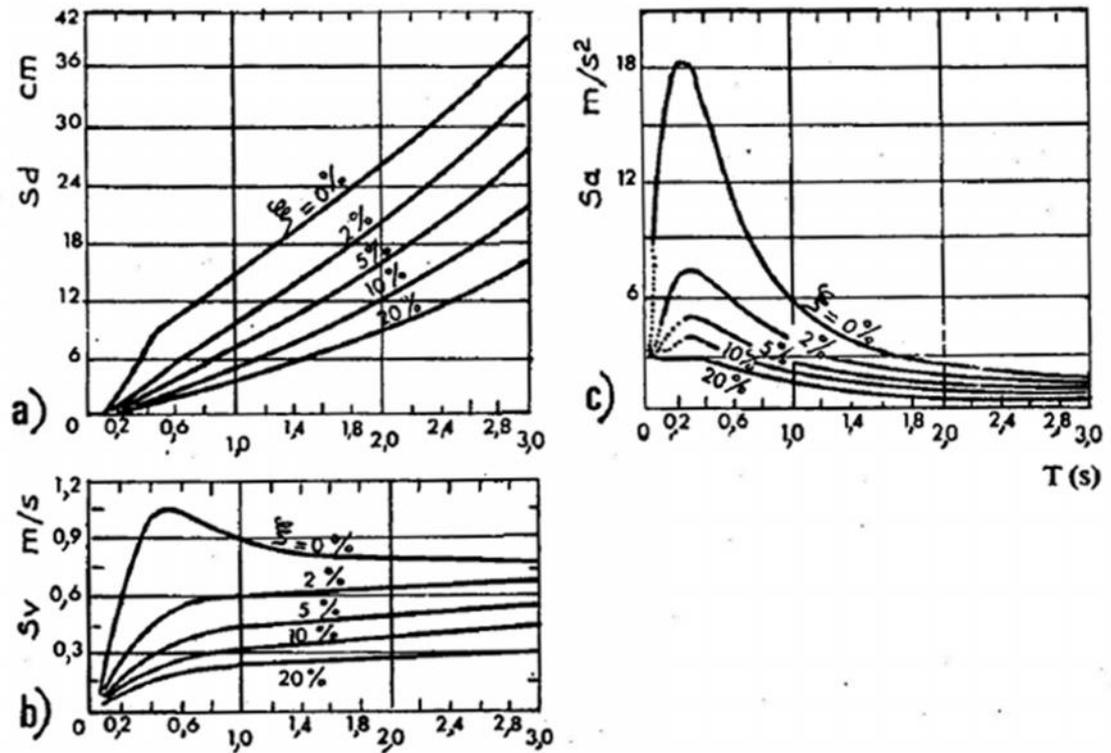


Figure 2.2 : Spectre de calcul a) spectre de déplacement  $S_d$ , b) spectre de vitesse  $S_v$   
c) spectre d'accélération  $S_a$  [10].

De ce traitement des accélérogrammes découle un intérêt pratique évident, on peut déterminer, immédiatement et par simple lecture graphique, le déplacement et l'accélération maximaux d'un système quelconque, il suffit de connaître le coefficient d'amortissement et la période propre  $T$  [10].

## 2.5 Influence du sol sur le spectre de réponse :

L'observation montre que le séisme est ressenti en un lieu donné dépend dans une large mesure de la nature des terrains traversés par l'onde sismique et des conditions locales (topographie du terrain,...).

En effet, les ondes sismiques se propagent dans le rocher, puis en certains endroits à travers des sédiments dont les caractéristiques vont influencer sur le mouvement du sol enregistré en surface.

Pour une même secousse sismique les spectres seront donc différents selon qu'ils correspondent à un affleurement rocheux ou à un dépôt sédimentaire [10].

Il est en effet souvent constaté que les ouvrages édifiés sur un sol meuble subissent des dommages plus importants que ceux situés sur un sol rocheux. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que les couches de sols meubles se comportent comme un oscillateur qui amplifie l'excitation appliquée à la base par le rocher.

En effet, si l'on se trouve en présence d'une importante formation de sols meubles, on peut considérer que la perturbation sismique est principalement propagée par le sol rocheux situé en profondeur, dans lequel elle voyage plus vite et ne subit qu'un amortissement relativement faible.

En conséquence, lorsqu'il s'agit de choisir un spectre pour un site donné, il est très important de connaître la nature du sol, puisque les sols durs transmettent de préférence les hautes fréquences et les sols mous les basses fréquences [11].

## 2.6 La période :

Considérons l'accélérogramme enregistré à la station de Lake Hughes pendant le séisme de Northridge en 1994 (figure 2.3) et examinons la réponse d'un oscillateur de pourcentage d'amortissement fixe, égale à 2%, et de période propre  $T$  variable. Cette réponse calculée par l'intégrale de Duhamel.

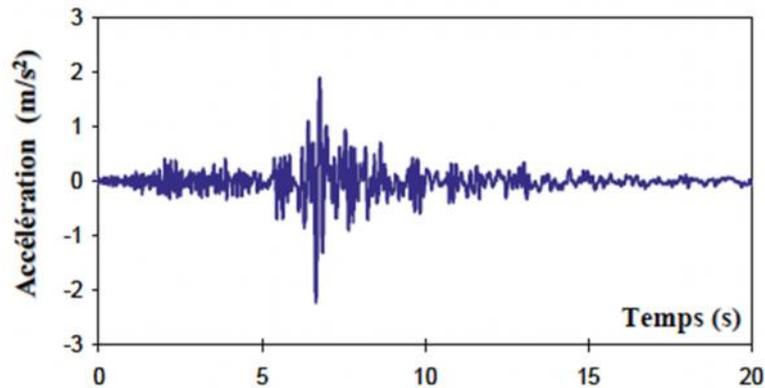


Figure 2.3 : Accélérogramme de Lake Hughes (Northridge 1994) [12].

L'examen de la figure 2.4 :

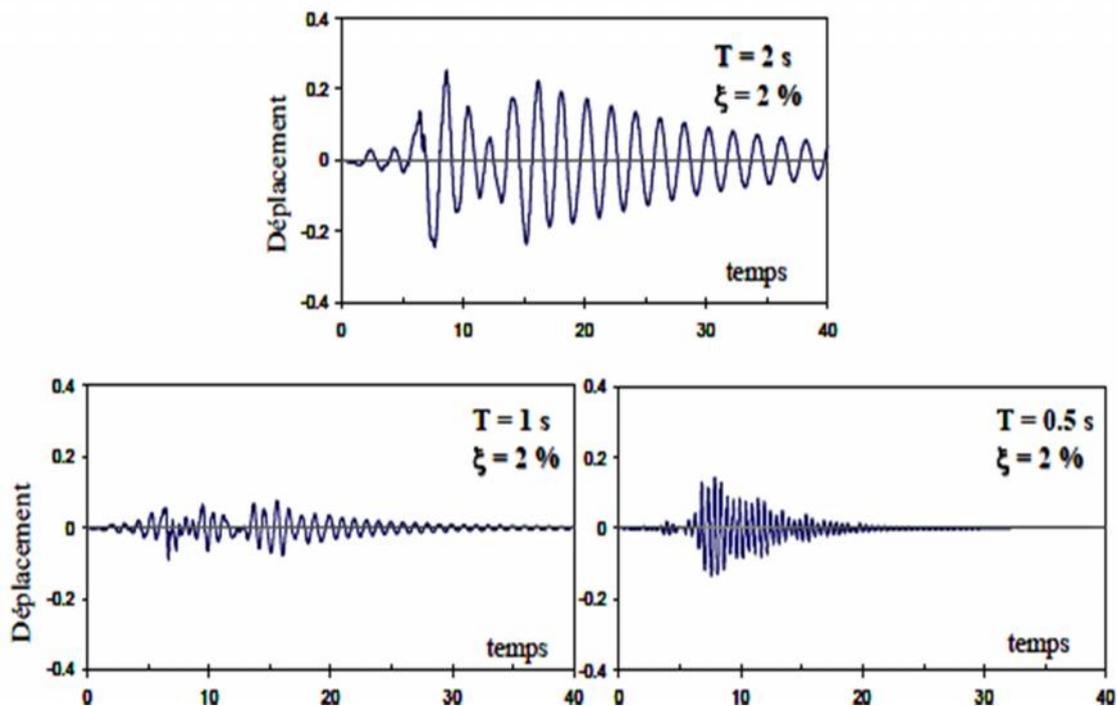


Figure 2.4 : Influence de la période sur la réponse de l'oscillateur [12].

On observe également que parmi les trois graphes, celui avec la période la plus longue possède la réponse en déplacement la plus élevée [12].

## 2.7 Conclusion :

Le génie parasismique étudie les séismes et leurs actions sur les constructions dans le but de réaliser des ouvrages susceptibles de meilleures résistances contre les séismes [1].

Les spectres de réponse constituent un outil très pratique pour les ingénieurs de quantifier les exigences du mouvement du tremblement de terre sur la capacité des bâtiments à résister aux tremblements de terre. Les données sur le mouvement du sol passé sont généralement sous la forme d'enregistrements d'historique de temps obtenus à partir d'instruments placés sur différents sites qui sont activés en détectant le mouvement du sol d'un tremblement de terre. Les enregistrements du mouvement peuvent être exprimés en termes d'accélération, de vitesse et de déplacement.

---

# Chapitre 3

---

## SELECTION DES ENREGISTREMENTS SISMIQUES

---

## SELECTION DES ENREGISTREMENTS SISMIQUES

### 3.1 Introduction :

La majorité des codes parasismiques dans le monde permettent d'effectuer le calcul dynamique pour l'analyse sismique des structures avec l'utilisation d'accélérogrammes comme excitations. Ces accélérogrammes qui sont des accélérations des particules de sol en fonction du temps, sont généralement enregistrés lors de secousses sismiques [13].

### 3.2 Source des accélérogrammes :

Les accélérogrammes sont la représentation la plus détaillée des séismes et contiennent une mine d'informations sur la nature de la secousse. Lorsque les accélérogrammes sont nécessaires, ils peuvent être obtenus grâce aux banques de données d'accélérogrammes réels ou ils peuvent être générés de manière synthétique. Dans tous les cas, les accélérogrammes utilisés dans la conception parasismique doivent être compatible avec le niveau de risque sismique défini et ils doivent tenir compte de la nature du mouvement du sol prévu sur le site [13].

### 3.3 Sélection des enregistrements sismiques pour le calcul :

L'EC8 permet l'utilisation de toute forme d'accélérogrammes pour le calcul de structures. Pour se conformer à EC8, l'ensemble des accélérogrammes, quel que soit son type (enregistrés, simulés ou artificiels), doit essentiellement répondre aux critères suivants [16] :

- a) il convient d'utiliser un minimum de 3 accélérogrammes.
- b) il convient que la moyenne des valeurs de l'accélération spectrale à période nulle (calculée à partir des accélérogrammes) ne soit pas inférieure à la valeur de  $a_{gs}$  pour le site en question.
- c) dans le domaine des périodes comprises entre  $0.2T_1$  et  $2T_1$ , où  $T_1$  est la période fondamentale de la structure dans la direction suivant laquelle l'accélérogramme va être appliqué, il convient qu'aucune valeur du spectre de réponse élastique moyen avec 5 % d'amortissement, calculé à partir de tous les accélérogrammes, ne soit inférieure à 90 % de la valeur correspondante du spectre de réponse élastique avec 5 % d'amortissement.

En guise de conclusion générale, il a été constaté que les dispositions ne permettent pas facilement de sélectionner des enregistrements réels appropriés, favorisant les faits l'utilisation de accélérogrammes obtenus soit par des techniques informatiques ou la manipulation d'enregistrements réels à avoir une forme qui coïncide à celui de spectre de référence, dans une large gamme de périodes. Cela est dû principalement de qui il est presque impossible pour les praticiens de rechercher dans les grandes bases de données pour trouver des suites de sept records réels (éventuellement multi composants) dont leur moyenne correspond étroitement au spectre de référence sans l'utilisation de logiciel spécifique.

### **3.4 Sélection des enregistrements sismiques :**

Pour se conformer aux critères édictés pour la sélection des accélérogrammes, les ensembles d'enregistrements sismique réels sélectionnés seront composés chacun de 50 accélérogrammes de sorte à pouvoir utiliser les moyennes des valeurs obtenues des spectres de réponse.

#### **3.4.1 Description de base de données des enregistrements sismiques PEER [14]:**

L'une des questions clés de l'analyse dynamique non linéaire des structures est la sélection des enregistrements sismiques appropriés. Des études montrent comment que la plupart des praticiens peuvent éprouver des difficultés par la sélection d'enregistrements pour une étude donnée, il peut exiger toujours des compétences sismologiques au-delà de leurs études. En outre, si les séismes réels sont concernés, pour sélectionner une suite de séismes correspondants à un spectre de conception donné, cela peut être difficile ou pratiquement impossible si des outils appropriés ne sont pas disponibles. Ces questions favorisent traditionnellement l'utilisation d'accélérogrammes associés aux spectres, soit artificiels ou obtenus par la manipulation des enregistrements réels. D'autre part, les séismes réels sont la meilleure représentation de l'action sismique pour l'évaluation et la conception des structures. Plusieurs bases de données pour les enregistrements sismiques sont disponibles sur internet.

Parmi ces base de données des enregistrements sismiques, la base de PGMD ( Peer Ground Motions Database ) est l'une de base les plus grandes et les plus utilisées dans les recherches. Cette base a été utilisée dans cette partie de mémoire pour la sélection des enregistrements sismiques.

NGA-West2 est un programme de recherche soutenu par le Pacific Earthquake Engineering Research Center ( PEER ) de mettre à jour l'édition de 2008. Une nouvelle base de données

de plus de 8000 enregistrements à trois composants pour plus de 300 tremblements de terre dans le monde entier avec différents niveaux de magnitudes a été développé pour le projet NGA- West2. Dans la base de données NGA - West2, les enregistrements sismiques relatifs à de nombreux événements depuis 2003 ont été ajoutés ; Ainsi, la nouvelle base de données est plus fournie que à celle dans NGA par un facteur de près de 2,2.

PGMD présente une application sur internet que permet à l'utilisateur de sélectionner des suites d'enregistrements sismiques compatibles à un spectre de réponse donné. L'utilisateur spécifie le spectre de réponse cible et les caractéristiques souhaitées des enregistrements sismiques en termes de magnitude, distance épacentrale, vitesse des ondes sismiques  $V_{s30}$  et d'autres caractéristiques générales. Puis il sélectionne les enregistrements sismiques qui satisfont aux critères de sélection définis auparavant par l'utilisateur et fournir le meilleur ajustement au spectre de réponse cible.

Un critère de base utilisé par PGMD pour sélectionner une suite représentative d'accélération du sol est que les spectres de ces accélérations fournit ajustement au spectre cible de l'utilisateur sur la plage de périodes d'intérêt définie par l'utilisateur. La mesure quantitative utilisée pour évaluer dans quelle mesure cette suite d'enregistrements sismiques est conforme au spectre de cible est l'erreur quadratique moyenne (MSE) de la différence entre les accélérations spectrales de l'enregistrement et du spectre cible, calculé en utilisant les logarithmes de période spectrale et l'accélération spectrale. L'outil PGMD recherche dans la base de données les enregistrements sismiques qui satisfont aux critères d'acceptations générales fournies par l'utilisateur, puis classe les enregistrements sismiques en ordre croissant des valeurs de la MSE. Les meilleurs enregistrements correspondant bien entendu aux valeurs de la MSE les plus basses.

Contrôler ce paramètre permet de choisir des combinaisons caractérisées par des enregistrements ayant des spectres individuels relativement proche du spectre cible, et donc étant étroitement distribués autour de ce spectre cible. La valeur MSE minimale pour tous les enregistrements permet d'obtenir à partir de ces derniers un spectre moyen qui a la tendance d'être aussi proche que possible au spectre cible.

### 3.4.2 Présentation des enregistrements sélectionnés par catégorie de sol :

La recherche de suites d'enregistrements sismiques pour une gamme variée d'applications structurelles constitue un problème complexe compte tenu de l'insuffisance de données appropriées au spectre choisie ( cible ) et du nombre important des critères de sélection des séismes (Magnitude, distance épacentrale, durée, PGA...). Les interfaces utilisées par la procédure de sélection d'enregistrements sismiques présentées par PGMD.

PGMD sélectionne les enregistrements sismiques à partir de la base de données interne d'enregistrements sismiques qui répondent le mieux aux critères de sélection spécifiés par l'utilisateur et fournir de bons ajustements au spectre de réponse cible. Les ensembles d'enregistrements sélectionnés n'appartiennent pas au même événement. Néanmoins, trois enregistrements au maximum appartiennent au même événement sismique éventuellement.

PEER Ground Motion Database *NGA-West2*  
Pacific Earthquake Engineering Research Center

HOME DOCUMENTATION HELP FEEDBACK PEER  
ABOUTPCS@GMAIL.COM SIGN\_OUT

Search was successfully created. Please allow time to render the graphics.

Edit Search

Load Sample Input Values Clear Input Values

**Search**

These characteristics are defined in the NGA-West2 file. You need to re-run Search when any of these parameters are updated.

**Record Characteristics:**

RSN(s) :  RSN1,...RSNn

Event Name :

Station Name :

**Search Parameters:**

Fault Type :

Magnitude :  min,max

R<sub>JB</sub>(km) :  min,max

R<sub>rup</sub>(km) :  min,max

Vs30(m/s) :  min,max

D5-95(sec) :  min,max

Pulse :

**Additional Characteristics:**

Max No. Records :  (<=100)

Initial ScaleFactor :  min,max

**Suite**

Spectral Ordinate :

Damping Ratio :

Suite Average :

**Scaling**

Scaling Method :

Figure 3.1: l'outil présenté par PGMD pour la sélection des enregistrements sismiques.

Une liste complète des enregistrements sélectionnés pour chaque classe de sol avec leurs caractéristiques est présentée dans les tableaux 3.1 à 3.3. Les spectres de réponse des enregistrements sélectionnés, avec leurs spectres de réponse moyens et cibles respectifs.

EarthquID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Vs 30(m/s)	Epicentral Distance	Soil
34	ST20	Friuli	5/6/1976	6.5	1021	23	A
87	ST54	Tabas	9/16/1978	7.3	826	12	A
93	ST64	Motenegro	4/15/1979	6.9	1083	21	A
146	ST96	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	1100	32	A
2142	ST2558	South Iceland (aftersh)	21/6/2000	6.4	-	5	A
497	ST3136	DuZce 1	11/12/1999	7.2	-	23	A
2309	ST539	Bingol	5/1/2003	6.3	806	14	A
59	Cedar Springs, Allen Ranch	San Fernando	1971	6.61	813	90	A
77	Pacioma Dam (upper left abut)	San Fernenido	1971	6.61	2016	1.8	A
146	Gilroy Array #1	Coyote Lake	1979	5.74	1428	10.7	A
155	Bevagna	Noricia , Italy	1979	5.9	1000	31	A
283	Arienzo	Irpinia , Italy _01	1980	6.9	1000	53	A
285	Bagnoli Irpinio	Irpinia , Italy_01	1980	6.9	1000	8.2	A
295	Auletta	Irpinia , Italy_02	1980	6.2	1000	29.9	A
455	Gilroy Array#1	Morgan Hill	1984	6.19	1428	14.9	A
663	Mt wilson _ CIT seis sta	whittier Narrows_01	1987	5.99	822	22.7	A
765	Gilroy Aray#1	Loma prieta	1989	6.93	1428	9.6	A
789	Point Bonita	Loma prieta	1989	6.93	1316	83	A
925	Rancho cucamonga_Deer Can	Big Bear _01	1992	6.46	822	59	A
1050	Pacoima Dam (downstr)	Northridge_01	1994	6.69	2016	7	A
1060	Rancho Cucamonga_deer	Northridge_01	1994	6.96	822	80	A
1645	MT Wilson _CIT Sies Sta	Sierra Madre	1991	5.61	822	10.4	A
2296	IT A 0 63	Chi_chi, TaiWan _ 02	1999	5.9	997	80	A
2996	HWA003	Chi_chi , TaiWan _ 05	1999	6.2	1526	50	A
3542	TTN042	Chi_chi , TaiWan _ 06	1999	6.3	845	86	A

**Tableau 3.1:** Enregistrements sismiques pour le sol A.

EarthquID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Vs 30(m/s)	Epicentral Distance	Soil
93	ST62	Montengro	-	6.9	464	25	B
125	Tolmezzo	Friuli , Italy-01	1976	6.5	424.8	15.82	B
126	Karakyr	Gazli USSR	1976	6.2	659.6	5.46	B
135	Cachuma Dam Toe	Santa Barbara	1978	5.92	438.339	27.42	B
139	Dayhook	Tabas , Iran	1978	7.35	659.6	13.94	B
213	Fremont_Mission San Jose	Livermore_01	1980	5.8	367.57	35.32	B
265	Cerro Prieto	Victoria , Mexico	1980	6.33	659.6	14.37	B
304	Tricarico	Irpinia , Italy_02	1980	6.2	460	64.37	B
323	Parkfiold_ Cholame 12w	Coalinga_01	1983	6.36	408.93	55.77	B
369	Slack Canyon	Coalinga_01	1983	6.36	684.935	27.46	B
439	TAN_719	Borahpeak , ID_01	1983	6.88	424.8	84.8	B
451	Coyote Lake Dam (SW Abut)	Morgan Hill	1984	6.19	597.12	0.53	B
476	UCSC Lick observatory	Morgan Hill	1984	6.19	714	45.47	B
537	Silent Valley _ poppetflat	N. palm Springs	1986	6.06	684.935	17.03	B
586	Maraenni primary School	New Zealand_02	1987	6.6	424.8	68.74	B
662	Moorpark_ Fire Sta	Whittier Narrows_01	1987	5.99	405.189	74.69	B
771	Goldem Gate Bridge	Lama Prieta	1989	6.93	641.557	79.81	B
879	Lucerne	Landers	1992	7.28	684.935	5.46	B
1046	Newport Bch_Irvine	Nrthridge_01	1994	6.69	405	85	B
1112	OKA	Kobe , Japan	1995	6.69	609	86.94	B
1632	Ranchocucamonga_FF	Upland	1990	5.63	390.18	10.96	B
1678	L A_City Terrace	Northridge_04	1994	5.93	365.22	53.8	B
2185	CHY 06	Chi_chi , Taiwan _02	1999	5.9	602.63	99.84	B
2781	HWA033	Chi_chi , Taiwan _04	1999	6.2	396	64	B
3355	HWA046	Chi_chi , Taiwan _06	1999	6.3	617.52	60.25	B

**Tableau 3.2:** Enregistrements sismiques pour le sol B.

EarthquID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Vs 30(m/s)	Epicentral Distance	Soil
31	Cholame-shandon Array	parkfield	1966	6.19	256.82	12.9	C
51	2516 Via Tejon pv	San Fernando	1971	6.61	280.56	55.2	C
95	Managua,ESSO	Mangua,Nicaragua	1972	6.24	288.77	4.06	C
123	Conegline	Friuli,Italy_01	1976	6.5	274.5	80.41	C
130	Buia	Friuli,Italy_02	1976	5.91	338.6	11.03	C
163	Calipatria Fire Station	Imperial Valley_06	1979	6.53	205.78	24.6	C
246	Benton	Manamoth Lakes_06	1980	5.94	271.441	44.46	C
266	Chihuahua	Victoria , Mexico	1980	6.33	274.5	18.96	C
290	Mercato San Severino	Irpinia , Italy_01	1980	6.9	350	29.8	C
301	Mercato San Severino	Irpinia , Italy_02	1980	6.2	350	44.41	C
319	Westmorland Fire Sta	Westmorland	1981	5.9	193.67	6.5	C
322	Cantua CreeK school	Coalinga_01	1983	6.36	271.441	24.02	C
469	SF Intern . Airport	Morgan Hill	1984	6.19	190.14	70.93	C
591	Anaheim_WBail Rd	Whittier Narrows_01	1987	5.99	234.883	29.6	C
730	Gukasian	Spitak , Armenia	1988	6.77	274.5	24	C
829	Rio Dell overpass_ FF	Cape Mendocino	1992	7.01	311.75	14.33	C
949	Arleto_ Nordhoff Fire Sta	Northridge_01	1994	6.69	297.71	8.66	C
1105	HIK	Kobe , Japon	1995	6.9	256	95.72	C
1119	Takarazuka	Kobe , Japon	1995	6.9	312	0.27	C
1621	Yarimca	Duzce , Turkey	1999	7.14	297	97.53	C
1627	Maku	Caldiran , Turkey	1976	7.21	274.5	50.82	C
1640	Tanekabun	Manjil, Iran	1990	7.37	274.5	93.62	C
1746	Station #7_ Las vegas Ann Road	Little skull Mtn , Nr	1992	5.65	274.5	99.58	C
2484	CHY 063	Chi_chi , Taiwan_03	1999	6.2	264.88	93.78	C
2752	CHY 101	Chi_chi , Taiwan_04	1999	6.2	258.89	21.67	C

Tableau 3.3: Enregistrements sismiques pour le sol C.

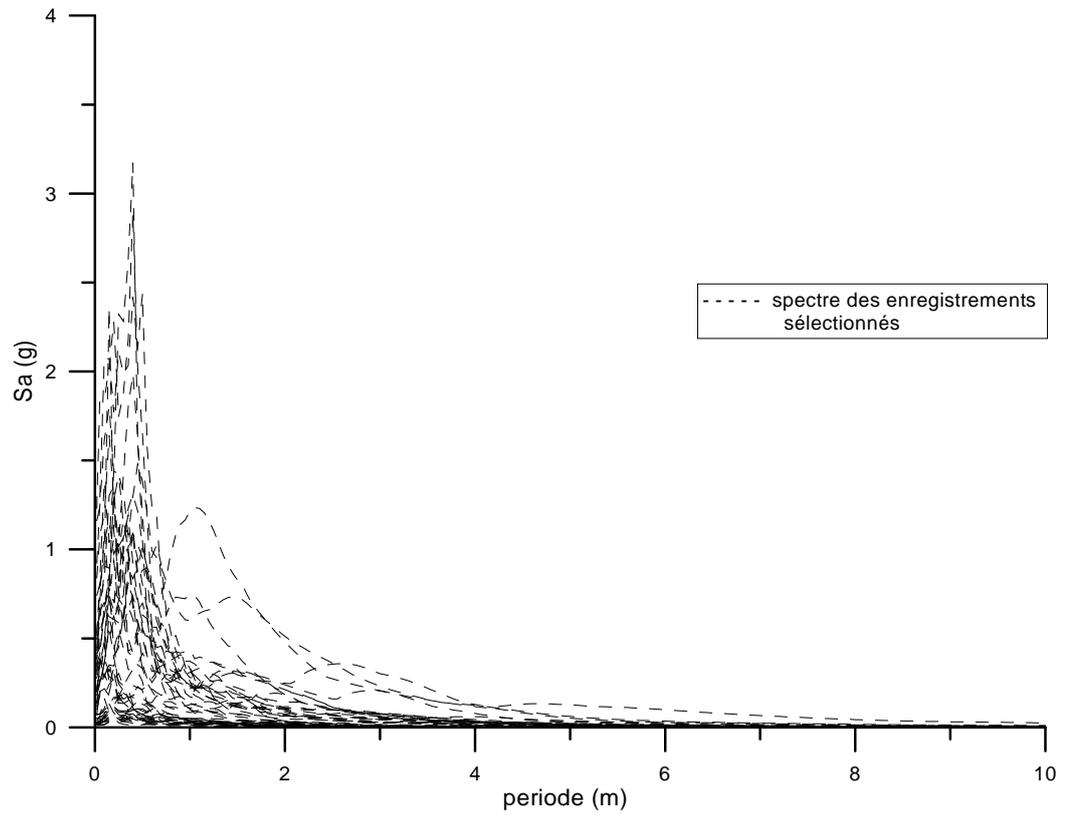


Figure 3.2: spectres de réponse des enregistrements sismiques pour le sol A.

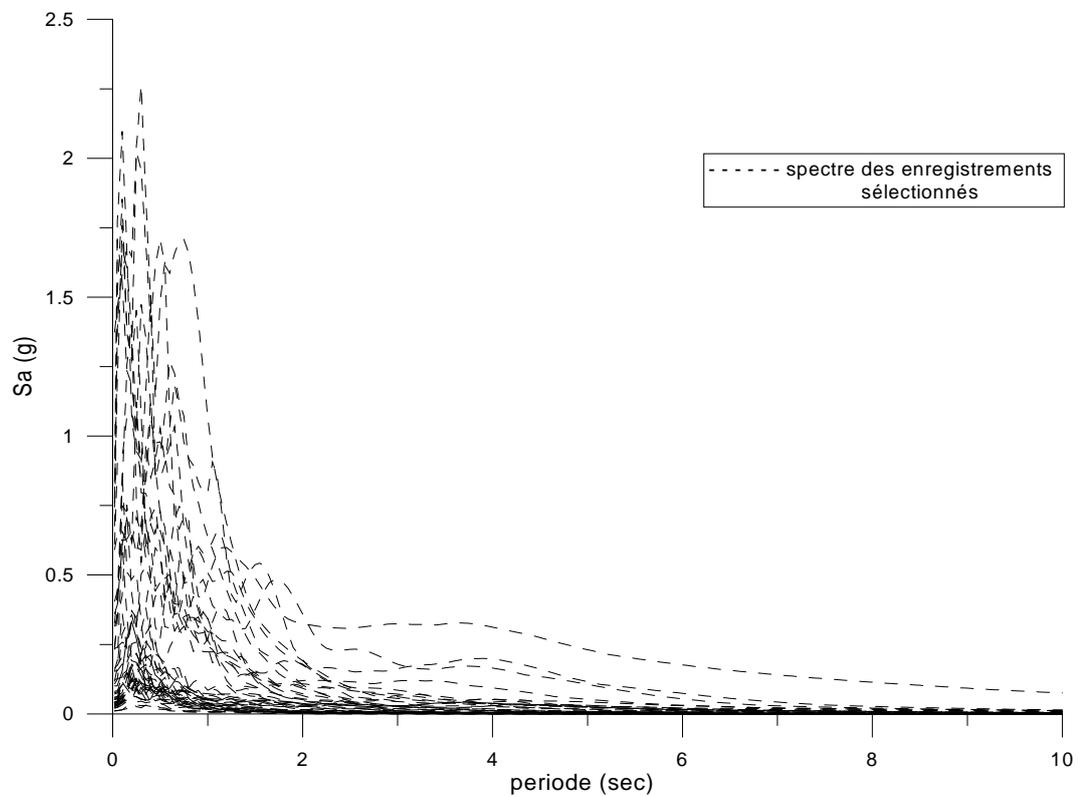


Figure 3.3: spectres de réponse des enregistrements sismiques pour le sol B.

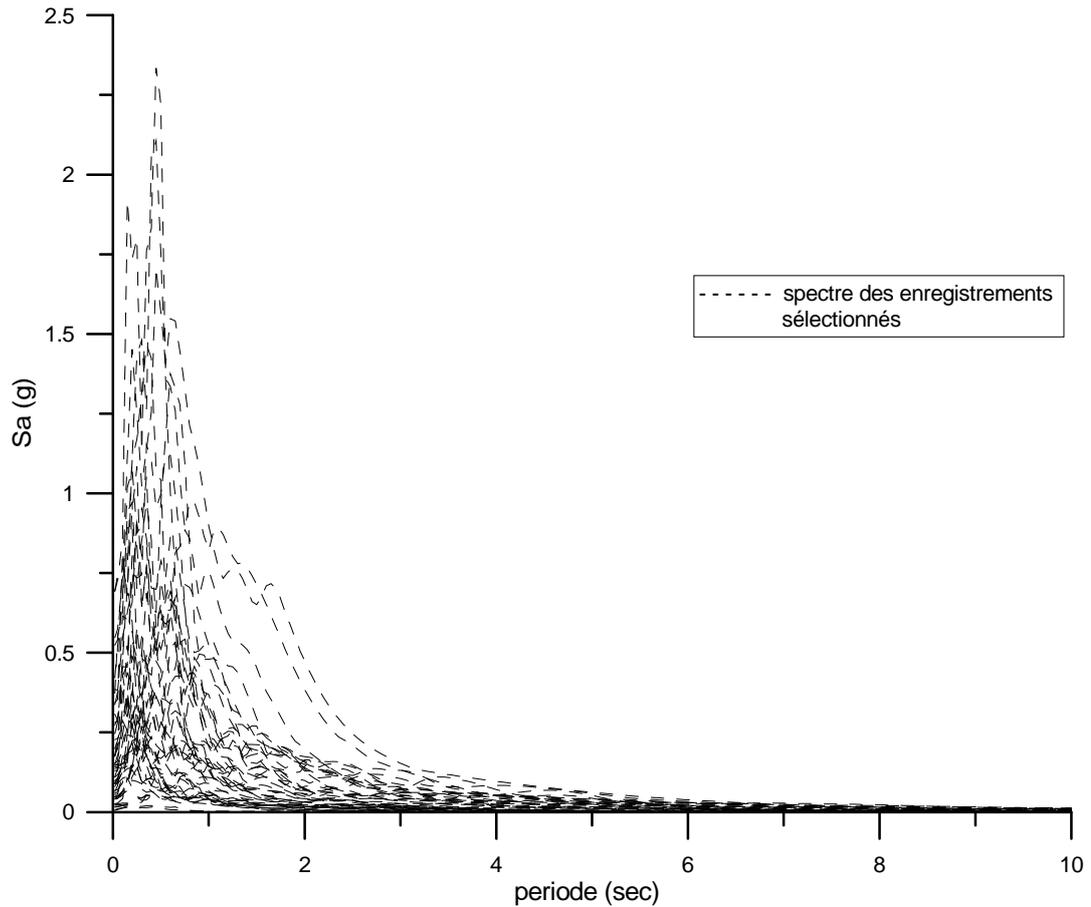


Figure 3.4: spectres de réponse des enregistrements sismiques pour le sol C.

### 3.5 Conclusion :

L'excitation sismique est un chargement important à prendre en considération pour la conception et le dimensionnement des constructions importantes. Dans ce cas, on a recours aux bases de données d'enregistrement sismiques, pour choisir une évolution de l'excitation sismique qui peut représenter au mieux la sismicité de la région.

Les accélérogrammes simulés facilitent beaucoup le travail des ingénieurs et ils sont devenus un moyen important dans l'évaluation de la réponse sismique [13].

---

# Chapitre 4

---

## **EFFET DES CARACTERISTIQUES SISMIQUES SUR LES SPECTRES DE REPONSE**

---

## EFFET DE CARACTERISTIQUES SISMIQUES SUR LES SPECTRES DE REPONSE

### 4.1 Introduction:

L'analyse structurale des bâtiments nécessite une sélection rigoureuse de l'excitation sismique afin de représenter adéquatement les conditions sismiques du site à l'étude.

Ce travail consiste à calculer la réponse des structures sous excitations sismiques, pour un ensemble de 150 enregistrements sismiques issus de la base de données mondiale PEER.

Pour un site donné, on a évité de mettre un grand nombre d'enregistrements sismiques de même évènement dans le même groupe. Ceci explique l'utilisation de plusieurs évènements tel que : Friuli, San Fernando, Monténégro, Campano Lucano, Coyote Lake, Norcia Italy, Irpinia Italy, Morgan Hill.....etc.

Cette étude a été faite sur la base de deux paramètres sismiques, la magnitude et les classes de sols.

### 4.2 Effet de caractéristiques des séismes sur les spectres de réponse :

#### 4.2.1 Effet de la magnitude sur les spectres de réponse :

La première partie consiste à l'étude de l'effet de la magnitude sur les spectres de réponses, dans ce contexte l'ensemble de 150 enregistrements sismiques sont divisés à trois classes.

- la 1<sup>er</sup> classe contient les séismes de magnitudes entre  $5.6 < M < 6.2$
- la 2<sup>ème</sup> classe pour les séismes de magnitudes entre  $6.2 < M < 6.8$
- la 3<sup>ème</sup> classe pour les séismes de magnitudes entre  $6.8 < M < 7.4$ .

EarthquID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Vs 30(m/s)	Epicentral Distance	Soil
146	Gilroy Array #1	Coyote Lake	1979	5.74	1428	10.7	A
155	Bevagna	Norcia , Italy	1979	5.9	1000	31	A
295	Auletta	Irpinia , Italy_02	1980	6.2	1000	29.9	A
455	Gilroy Array#1	Morgan Hill	1984	6.19	1428	14.9	A
663	Mt wilson _ CIT seis sta	whittier Narrows_01	1987	5.99	822	22.7	A
1645	MT Wilson _CIT Sies Sta	Sierra Madre	1991	5.61	822	10.4	A
2296	ILA 0 63	Chi_chi , TaiWan _ 02	1999	5.9	997	80	A
2996	HWA003	Chi_chi , TaiWan _ 05	1999	6.2	1526	50	A
126	Karakyr	Gazli USSR	1976	6.2	659.6	5.46	B
135	Cachuma Dam Toe	Santa Barbara	1978	5.92	438.339	27.42	B
213	Fremont_Mission San Jose	Livermore_01	1980	5.8	367.57	35.32	B
304	Tricarico	Irpinia , Italy_02	1980	6.2	460	64.37	B
451	Coyote Lake Dam (SW Abut)	Morgan Hill	1984	6.19	597.12	0.53	B
476	UCSC Lick observatory	Morgan Hill	1984	6.19	714	45.47	B
537	Silent Valley _ poppet Flat	N. palm Springs	1986	6.06	684.935	17.03	B
662	Moorpark_ Fire Sta	Whittier Narrows_01	1987	5.99	405.189	74.69	B
1632	Rancho Cucamonga_FF	Upland	1990	5.63	390.18	10.96	B
1678	L A_City Terrace	Northridge_04	1994	5.93	365.22	53.8	B
2185	CHY 06	Chi_chi , Taiwan _02	1999	5.9	602.63	99.84	B
2781	HWA033	Chi_chi , Taiwan _04	1999	6.2	396	64	B
31	Cholame-shandon Array	parKfield	1966	6.19	256.82	12.9	C
130	Buia	Friuli,Italy_02	1976	5.91	338.6	11.03	C
246	Benton	Mammoth Lakes _06	1980	5.94	271.441	44.46	C
301	Mercato San Severino	Irpinia , Italy_02	1980	6.2	350	44.41	C
319	Westmorland Fire Sta	Westmorland	1981	5.9	193.67	6.5	C
469	SF Inten . Airport	Morgan Hill	1984	6.19	190.14	70.93	C
591	Anaheim_WBail Rd	Whittier Narrows _01	1987	5.99	234.883	29.6	C
1746	Station #7_ Las Vegas Ann Road	Little skull Mtn , Nr	1992	5.65	274.5	99.58	C
2484	CHY 063	Chi_chi , Taiwan_03	1999	6.2	264.88	93.78	C
2752	CHY 101	Chi_chi , Taiwan_04	1999	6.2	258.89	21.67	C

**Tableau 4.1:** Enregistrements sismiques pour le 1<sup>er</sup> classe de magnitude  $5.6 < M \leq 6.2$

EarthquID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Vs 30(m/s)	Epicentral Distance	Soil
34	ST20	Friuli	5/6/1976	6.5	1021	23	A
2142	ST2558	South Iceland (aftersh)	21/6/2000	6.4	-	5	A
2309	ST539	Bingol	5/1/2003	6.3	806	14	A
59	Cedar Springs, Allen Ranch	San Fernando	1971	6.61	813	90	A
77	Pacioma Dam (upper left abut)	San Fernenado	1971	6.61	2016	1.8	A
925	Rancho cucamonga_Deer Can	Big Bear _01	1992	6.46	822	59	A
1050	Pacoima Dam (downstr)	Northridge_01	1994	6.69	2016	7	A
3542	TTN042	Chi_chi.3 TaiWan_06	1999	6.3	845	86	A
125	Tolmezzo	Friuli , Italy-01	1976	6.5	424.8	15.82	B
265	Cerro Prieto	Victoria , Mexico	1980	6.33	659.6	14.37	B
323	Parkfield_ Cholame 12w	Coalinga_01	1983	6.36	408.93	55.77	B
369	Slack Canyon	Coalinga_01	1983	6.36	684.935	27.46	B
586	Maraenni primary Schood	New Zealand_02	1987	6.6	424.8	68.74	B
1046	Newport Ave.F.S Bch_Irvine	Nrthridge_01	1994	6.69	405	85	B
1112	OKA	Kobe , Japan	1995	6.69	609	86.94	B
3355	HWA046	Chi_chi , Taiwan _06	1999	6.3	617.52	60.25	B
51	2516 Via Tejon pv	San Fernando	1971	6.61	280.56	55.2	C
95	Managua,ESSO	Mangua,Nicaraga	1972	6.24	288.77	4.06	C
123	Conegliano	Friuli,Italy_01	1976	6.5	274.5	80.41	C
163	Calipatria Fire Station	Imperial Valley_06	1979	6.53	205.78	24.6	C
266	Chihuahua	Victoria , Mexico	1980	6.33	274.5	18.96	C
322	Cantua CreeK school	Coalinga_01	1983	6.36	271.441	24.02	C
730	Gukasian	Spitak , Armenia	1988	6.77	274.5	24	C
949	Arleta_ Nordhoff Fire Sta	Northridge_01	1994	6.69	297.71	8.66	C

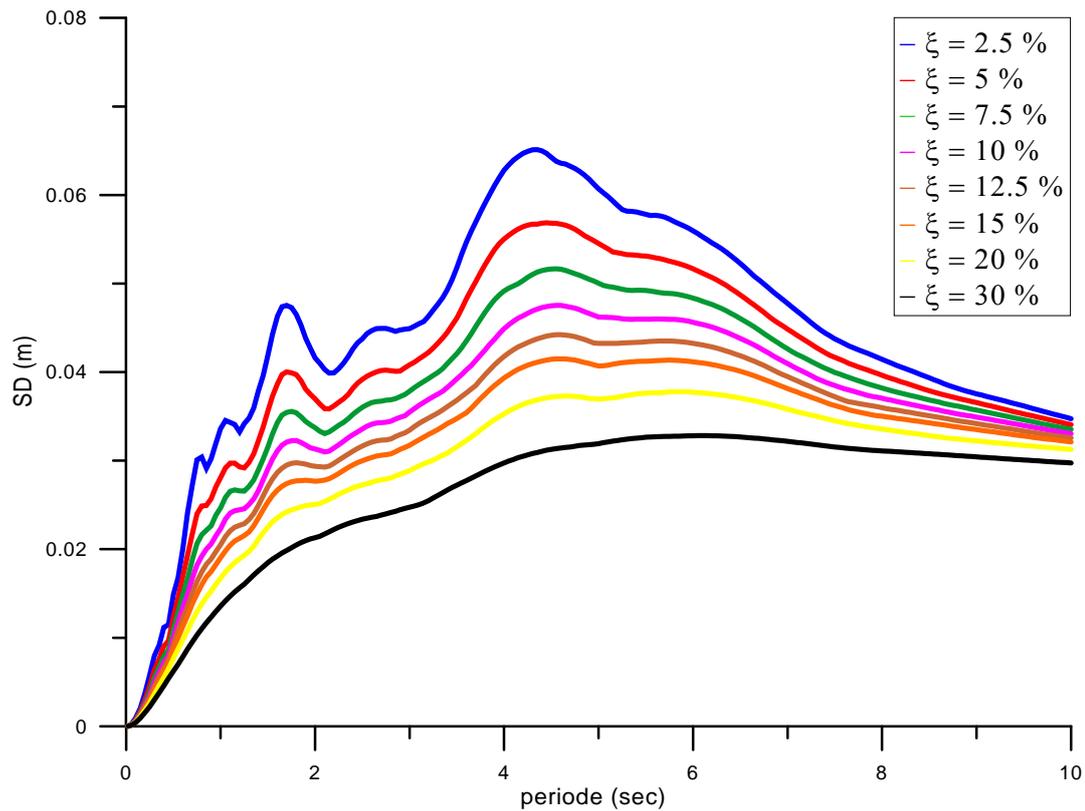
**Tableau 4.2:** Enregistrements sismiques pour le 2<sup>e</sup> classe de magnitude  $6.2 < M < 6.8$

EarthquID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Vs 30(m/s)	Epicentral Distance	Soil
87	ST54	Tabas	9/16/1978	7.3	826	12	A
93	ST64	Motenegro	4/15/1979	6.9	1083	21	A
146	ST96	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	1100	32	A
497	ST3136	DuZce 1	11/12/1999	7.2	-	23	A
283	Arienzo	Irpinia , Italy_01	1980	6.9	1000	53	A
285	Bagnoli Irpinio	Irpinia , Italy_01	1980	6.9	1000	8.2	A
765	Gilroy Aray#1	Loma prieta	1989	6.93	1428	9.6	A
789	Point Bonita	Loma prieta	1989	6.93	1316	83	A
1060	Rancho Cucamonga_Deer Can	Northridge_01	1994	6.96	822	80	A
93	ST62	Montengro	-	6.9	464	25	B
139	Dayhook	Tabas , Iran	1978	7.35	659.6	13.94	B
439	TAN_719	Borahpeak , ID_01	1983	6.88	424.8	84.8	B
771	Golden Gate Bridge	Loma Prieta	1989	6.93	641.557	79.81	B
879	Lucerne	Landers	1992	7.28	684.935	5.46	B
290	Mercato San Severino	Irpinia , Italy_01	1980	6.9	350	29.8	C
829	Rio Dell overpass_ FF	Cape Mendocino	1992	7.01	311.75	14.33	C
1105	HIK	Kobe , Japon	1995	6.9	256	95.72	C
1119	Takarazuka	Kobe , Japon	1995	6.9	312	0.27	C
1621	Yarimca	Duzce , Turkey	1999	7.14	297	97.53	C
1627	Maku	Caldiran , Turkey	1976	7.21	274.5	50.82	C
1640	Tanekabun	Manjil, Iran	1990	7.37	274.5	93.62	C

**Tableau 4.3:** Enregistrements sismiques pour le 3<sup>ème</sup> classe de magnitude  $6.8 < M < 7.4$

Pour les trois groupes de séismes sélectionnés précédemment, les spectres de réponses sont calculés à partir des enregistrements sismiques pour 8 valeurs de  $\xi$  (2.5%, 5%, 7.5%, 10 %, 12.5%, 15%, 20%, 30%). Ensuite, les moyennes des spectres dans chaque classe sont calculés pour chaque valeurs de  $\xi$ , ces spectres moyens sont représentés dans les figures 4.1, 4.2 et 4.3.

Les figures de Figure 4.4 à Figure 4.11 présentent les moyennes de spectres de réponses estimés pour les trois classes pour une même valeur de  $\xi$  (2.5%, 5%, 7.5%, 10 %, 12.5%, 15%, 20%, 30%).



**Figure 4.1 :** Spectre de réponse pour la magnitude  $5.6 < M < 6.2$  avec différentes valeurs d'amortissement.

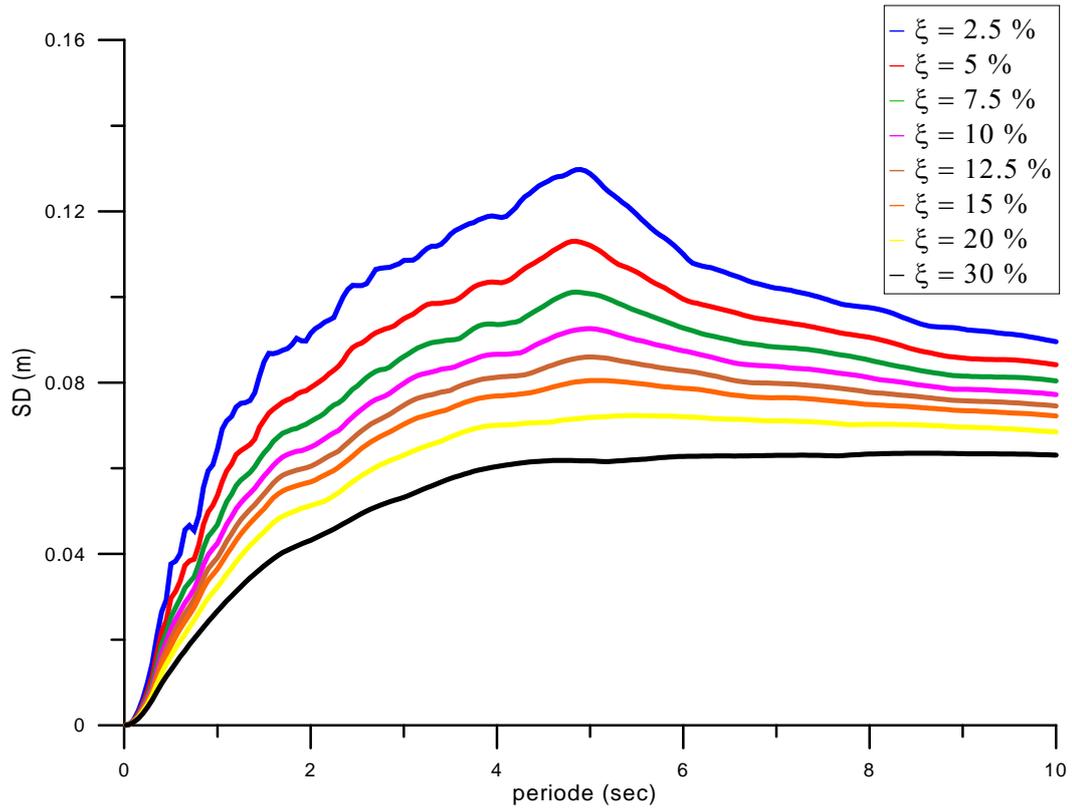


Figure 4.2 : Spectre de réponse pour la magnitude  $6.2 < M < 6.8$  avec différentes valeurs d’amortissement.

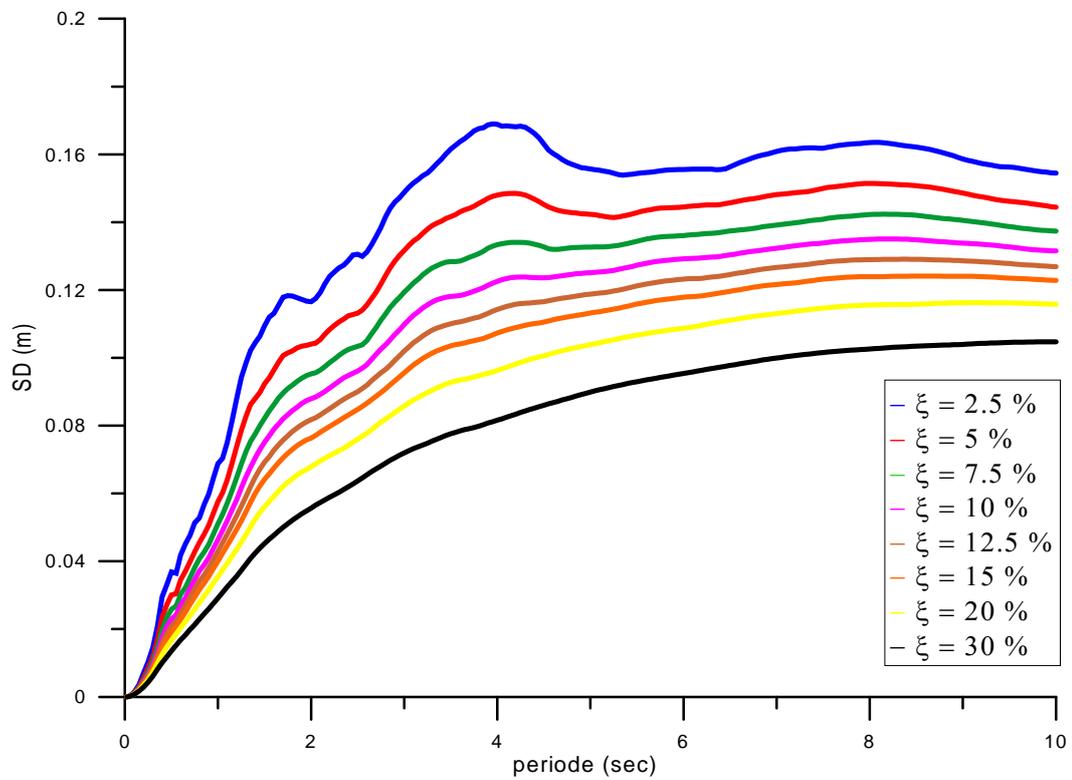


Figure 4.3 : Spectre de réponse pour la magnitude  $6.8 < M < 7.4$  avec différentes valeurs d’amortissement.

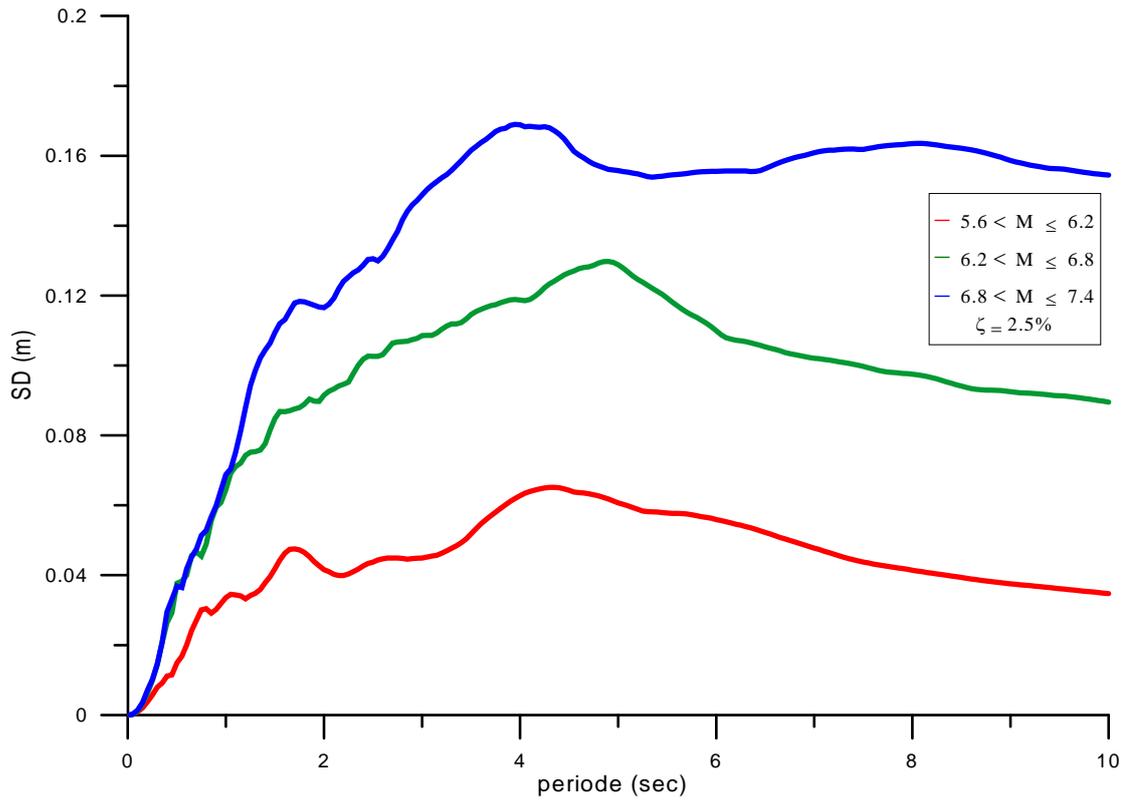


Figure 4.4 : spectre de réponse pour un amortissement  $\zeta = 2.5\%$  en fonction de la magnitude.

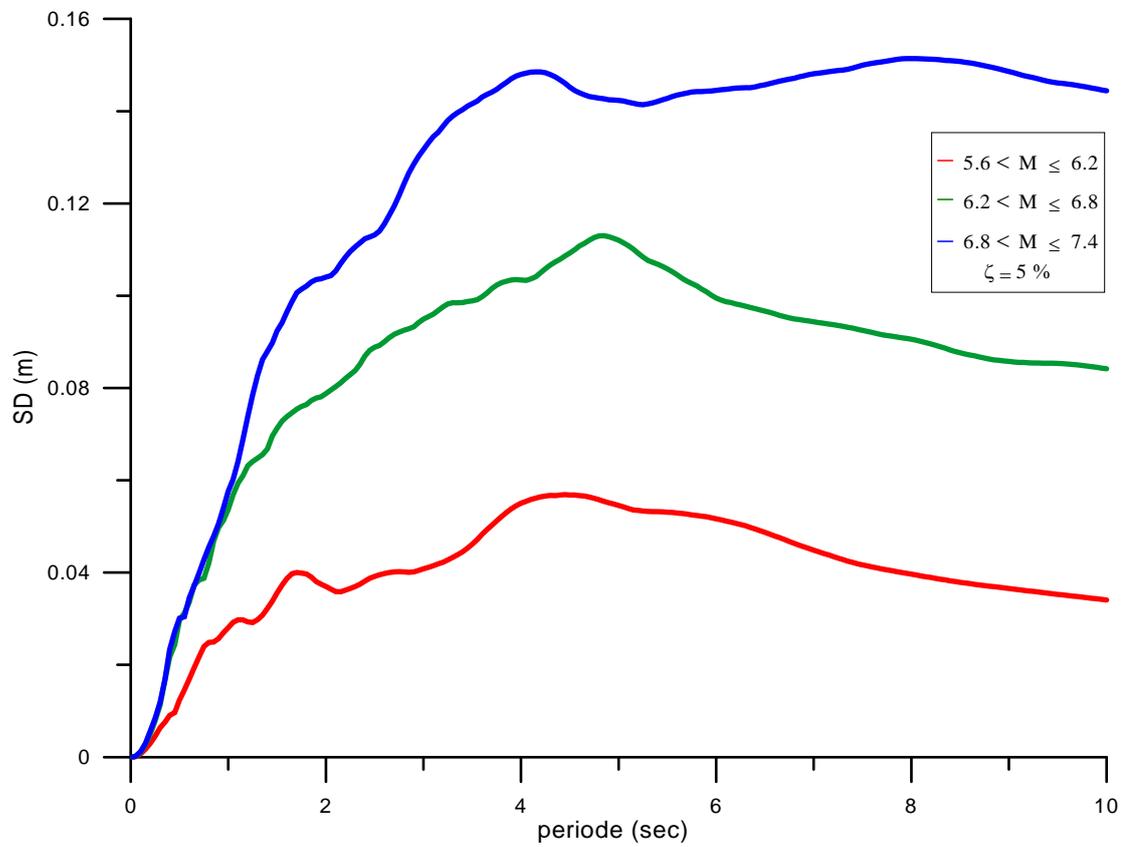


Figure 4.5 : spectre de réponse pour un amortissement  $\zeta = 5\%$  en fonction de la magnitude.

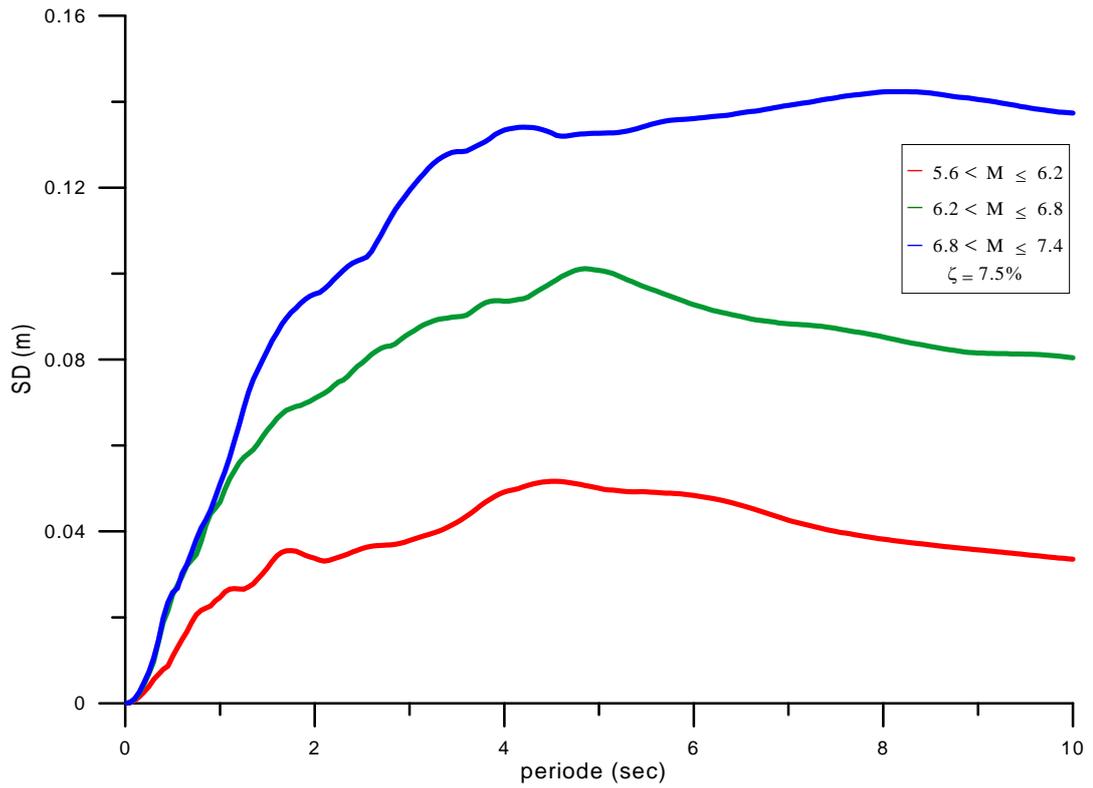


Figure 4.6 : spectre de réponse pour un amortissement  $\zeta = 7.5\%$  en fonction de la magnitude.

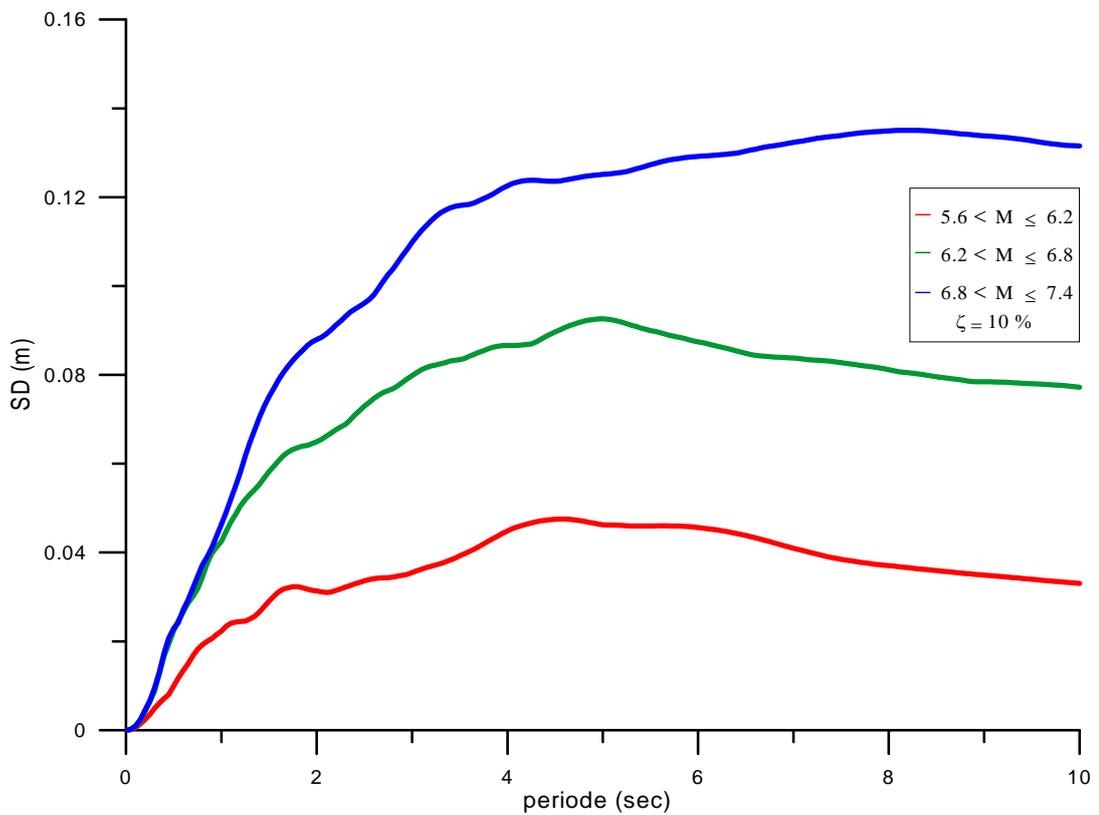


Figure 4.7 : spectre de réponse pour un amortissement  $\zeta = 10\%$  en fonction de la magnitude.

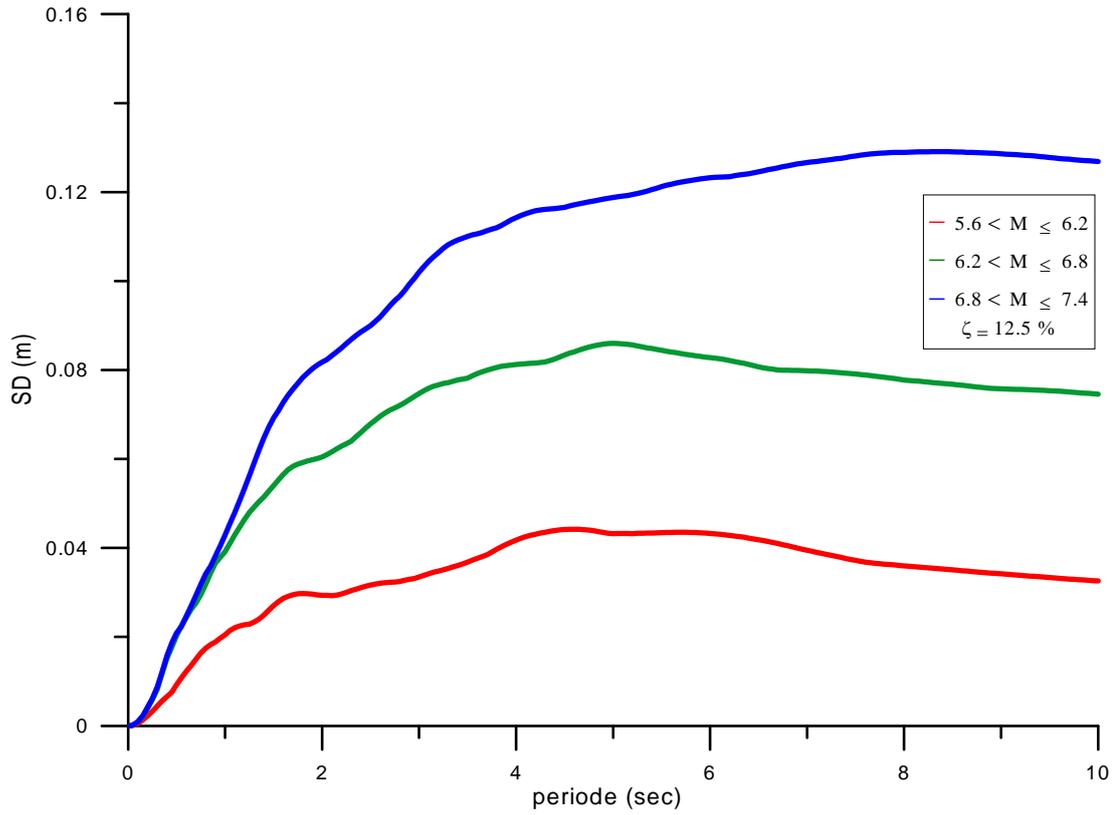


Figure 4.8 : spectre de réponse pour un amortissement  $\zeta = 12.5\%$  en fonction de la magnitude.

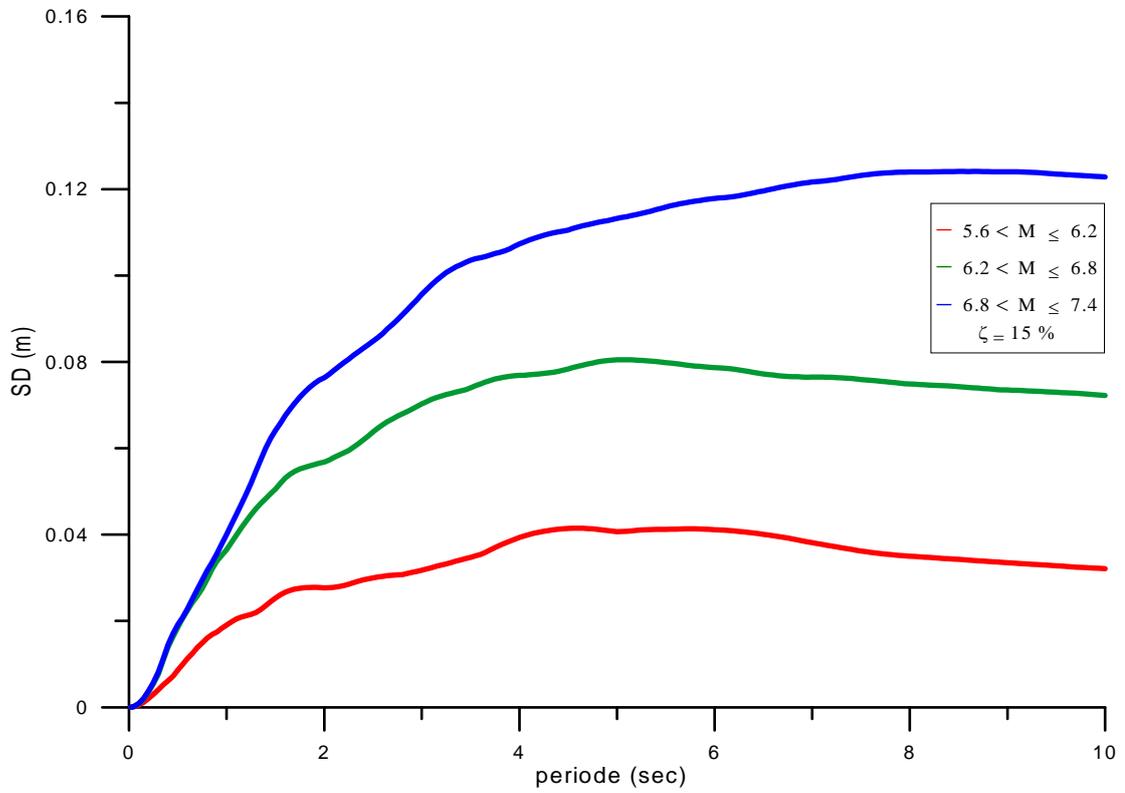


Figure 4.9 : spectre de réponse pour un amortissement  $\zeta = 15\%$  en fonction de la magnitude.

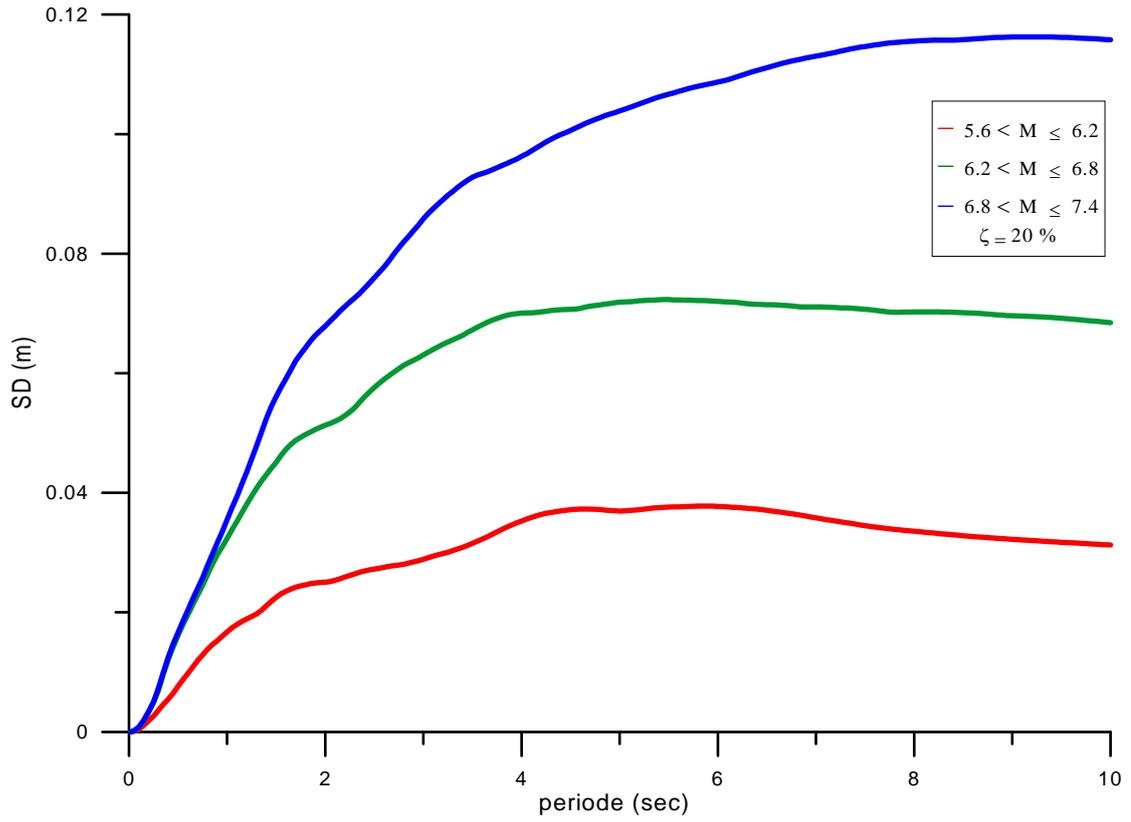


Figure 4.10 : spectre de réponse pour un amortissement = 20% en fonction de la magnitude

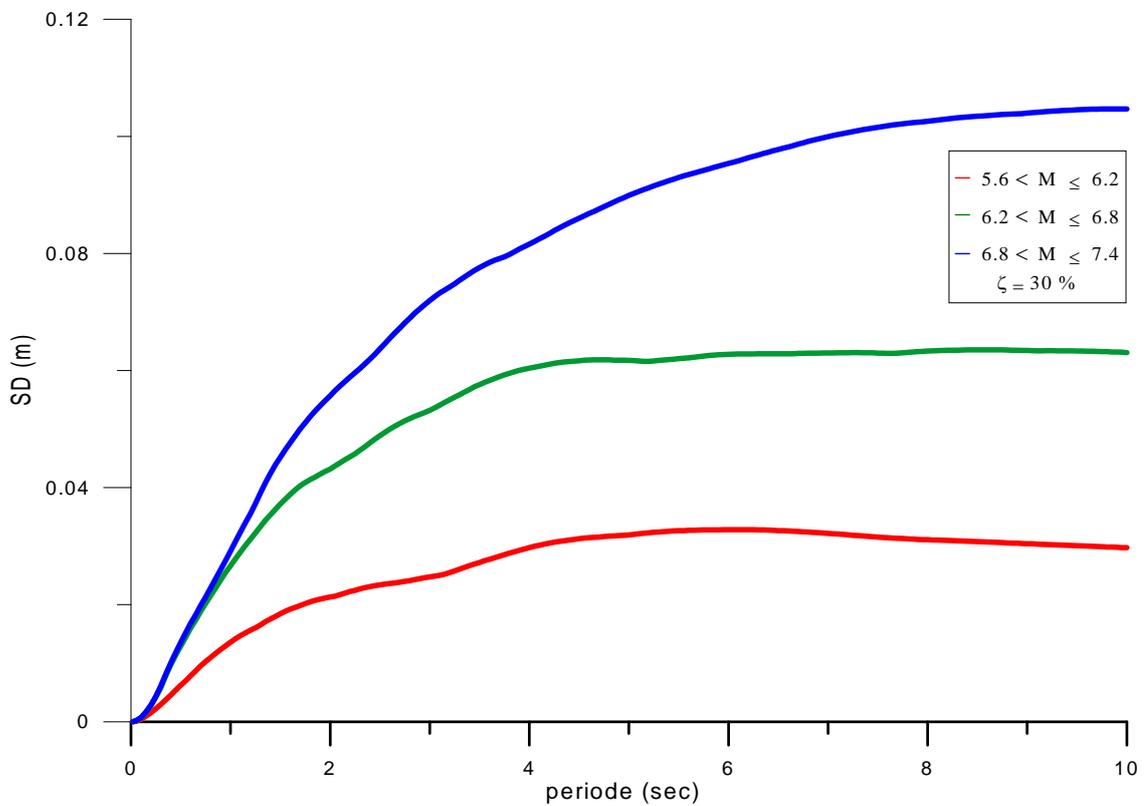


Figure 4.11 : spectre de réponse pour un amortissement = 30% en fonction de la magnitude.

Des remarques peuvent être tirées sur la base des figures 4.1 à 4.3 :

1/ les spectres moyennes pour les 3 classes ont les même allures pour les différentes valeurs de  $\mu$ . on remarque qu'il y a une petite variation des spectres de réponse pour la zone de basse périodes surtout la 1<sup>er</sup> classe de magnitude, une variation considérables pour la zone intermédiaire des périodes. Pour la zone des grande périodes, l'effet est différent en fonction de classe de magnitudes, la variation de la réponse pour la première classe reste limitée et commence d'être plus grande avec l'augmentation de valeurs de magnitude. Ces variations de spectre de réponses sont dues aux effets de l'amortissement.

2/ comme attendue, les valeurs de spectres de réponses augmentent avec l'augmentation de magnitude, on remarque que la valeur maximale est 6.51cm pour la première classe, 12.98cm pour la deuxième classe et 16.9cm pour la 3<sup>ème</sup> classe.

3/ On remarque aussi que le palier des spectres de réponse pour la période de supérieure à 4 sec. devient de plus en plus proches au pic des réponses en augmentent les valeurs de  $\mu$ .

#### 4.2.2 Effet des classes de sol sur les spectres de réponse :

Dans cette partie de l'étude, l'ensemble de séismes sélectionnés sont classés en fonction de type de sol selon la vitesse d'ondes S,  $V_s$  30. on obtient trois classes chacune contient 50 enregistrements sismiques classée selon EC 8 , les types de sol considérés ici sont le sol A , B et C. le type de sol A correspond à la roche, le sol de type B à des dépôts de sable très dense, gravier ou d'argile très raide et le type de sol C à des dépôts profonds de dense ou moyen dense sable, de gravier ou d'argile.

Les spectres de réponses sont estimés pour l'ensemble de séismes et les spectres moyens sont estimés pour chaque classe de sol pour différentes valeurs de  $\mu$ .

Les résultats sont représentés aux figures 4.12, 4.13 et 4.14

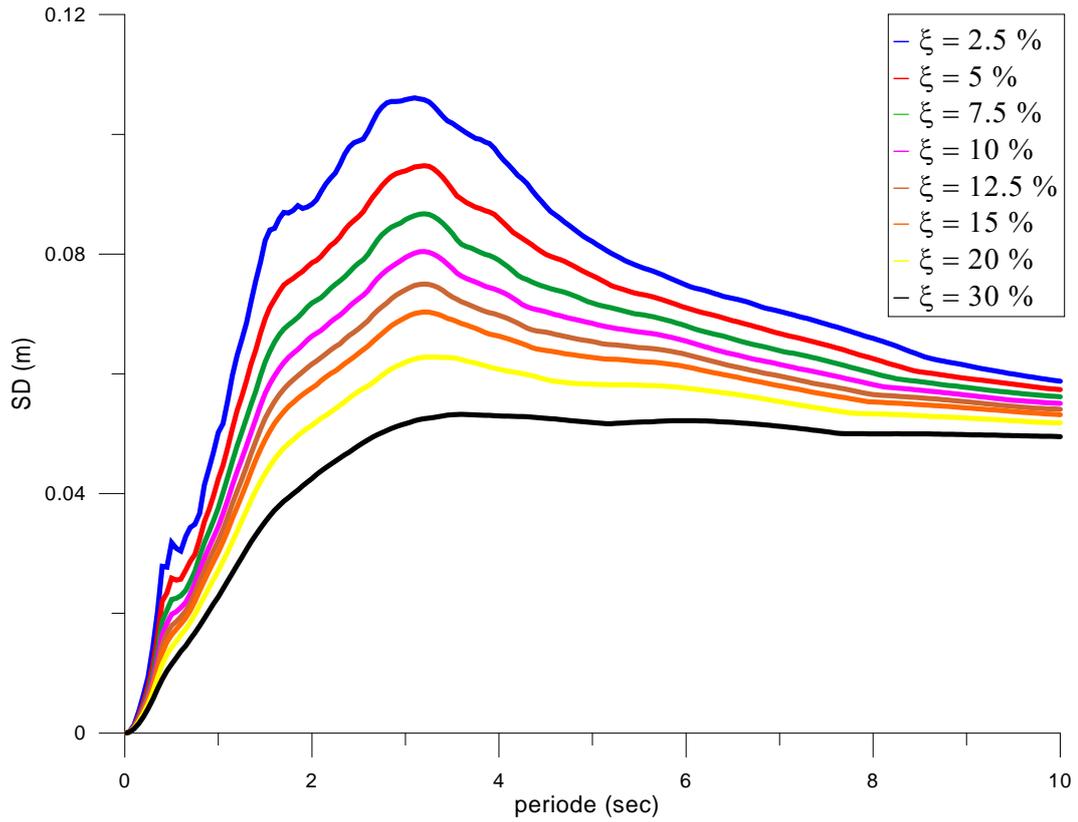


Figure 4.12 : Spectre de réponse pour la classe de sol A avec différentes valeurs d’amortissement.

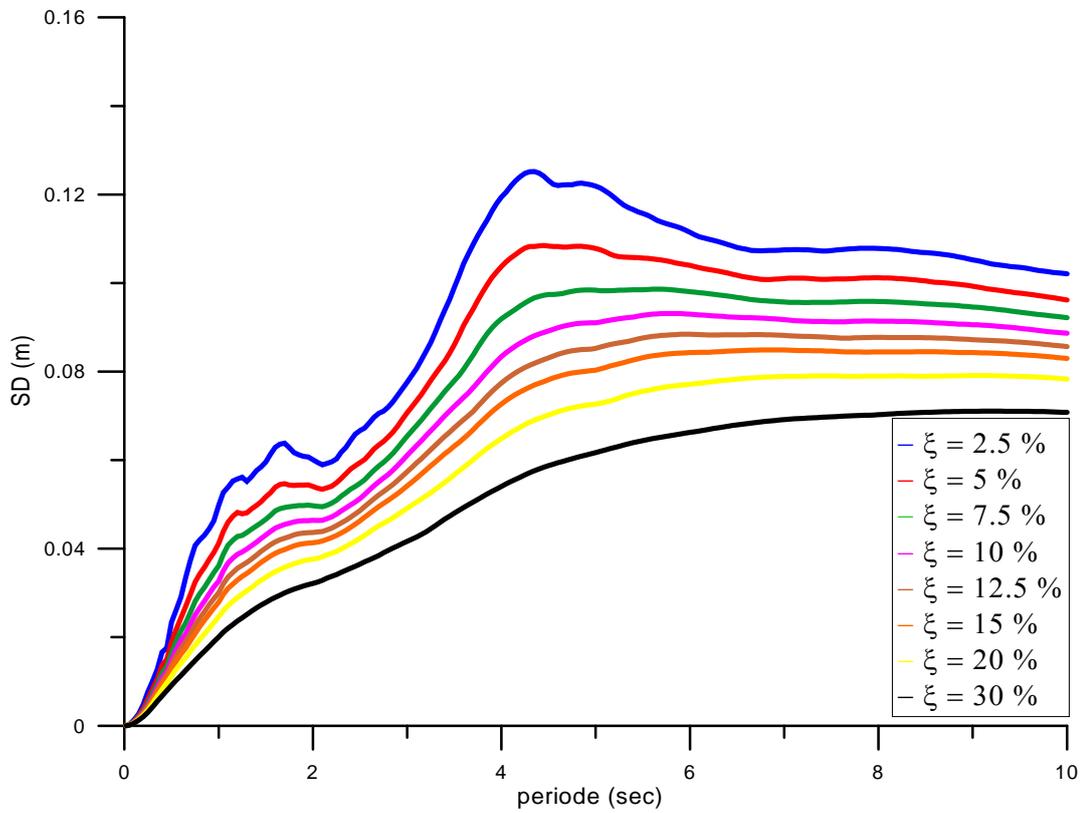
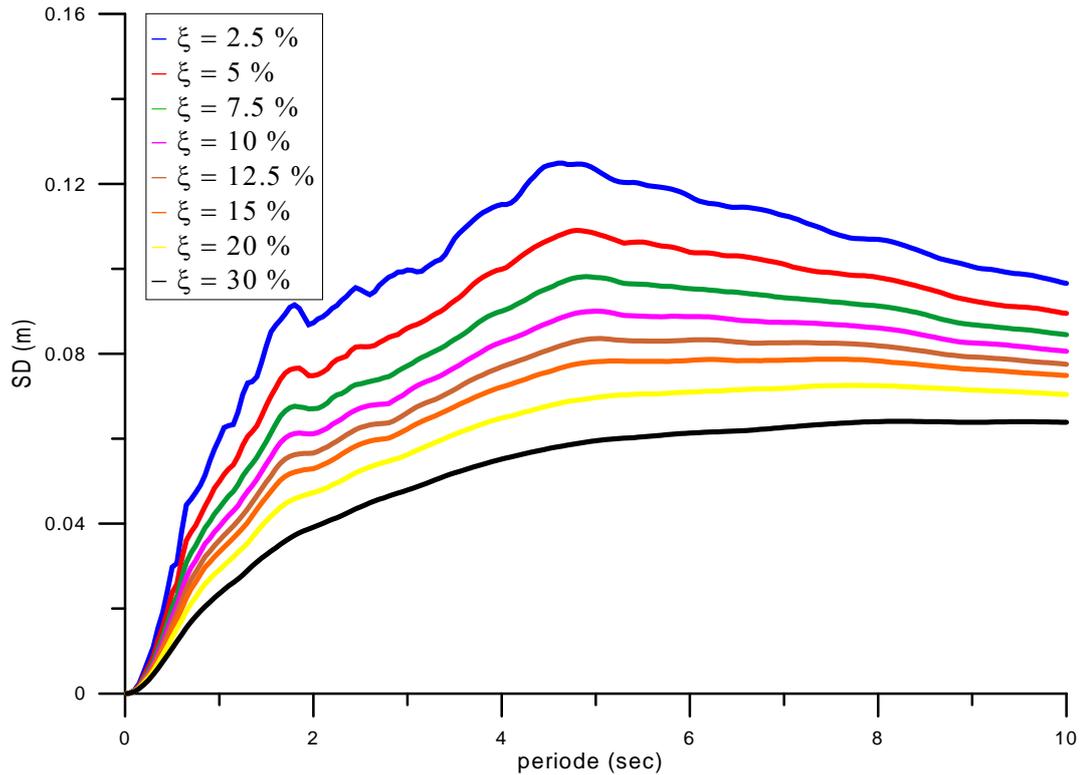


Figure 4.13 : Spectre de réponse pour la classe de sol B avec différentes valeurs d’amortissement.



**Figure 4.14 :** Spectre de réponse pour la classe de sol C avec différentes valeurs d'amortissement.

Les remarques suivantes peuvent être tirées de cette comparaison :

#### **Pour la classe de sol A :**

Il a été observé qu'il y a des pics des réponses spectrales autour de la période  $T = 3$  sec, l'amortissement a un grand effet sur la réduction de la réponse spectrale, en effet, la réponse a été réduite de 10.61 cm à 5.32 cm en augmentant l'amortissement de 2.5 % à 30 %.

Pour  $T > 8$  sec, l'amortissement pratiquement n'a pas d'effet dans cette zone (haute période), les courbes des spectres de réponse sont pratiquement confondues.

La même remarque a été obtenue pour  $T < 1$  sec, avec un effet léger de l'amortissement dans cette zone de basse période.

#### **Pour la classe de sol B :**

A la différence de sol A, la variabilité des spectres de réponse est plus grande que pour le sol A, pour  $T > 6$  sec les courbes des spectres de réponse deviennent constantes (courbes plates) indépendantes des valeurs de l'amortissement.

La différence entre la valeur pique estimée à  $T = 4$  sec et les valeurs des spectres de réponse n'est pas grande, en revanche de sol A.

**Pour la classe de sol C :**

Les mêmes conclusions déduites pour le sol B, sont obtenues pour le sol C avec une différence que les valeurs spectrales pour  $T > 6$  sec et les valeurs maximales des réponses sont plus proches que les autres sols. En effet, pour  $\gamma > 15\%$  et  $T > 5$  sec la réponse devient constante.

**4.3 Conclusion :**

Ce chapitre a pour but de déterminer l'effet de la magnitude et les différentes classes de sol sur les spectres de réponse.

Il a été conclue que :

- les spectres moyennes pour les 3 classes de magnitude ont les même allures pour les différentes valeurs de  $\gamma$ . on remarque qu'il y a une petite variation des spectres de réponse pour la zone de basse périodes surtout la 1<sup>er</sup> classe de magnitude, une variation considérables pour la zone intermédiaire des périodes. Pour la zone des grande périodes, l'effet est différent en fonction de classe de magnitudes, la variation de la réponse pour la première classe reste limitée et commence d'être plus grande avec l'augmentation de valeurs de magnitude. Ces variations de spectre de réponses sont dues aux effets de l'amortissement.
- comme attendue, les valeurs de spectres de réponses augmentent avec l'augmentation de magnitude, on remarque que la valeur maximale est 6.51cm pour la première classe, 12.98cm pour la deuxième classe et 16.9cm pour la 3<sup>ème</sup> classe.
- le palier des spectres de réponse pour les périodes supérieures à 4 sec. devient de plus en plus proches au pic des réponses en augmentent les valeurs de  $\gamma$ .
- les spectres de réponse de sol A ont des valeurs spectrales plus faibles que les sols B et C.

---

# **CONCLUSION GENERALE**

---

## CONCLUSION GENERALE :

Le travail présenté dans ce mémoire a été consacré à l'étude de l'effet des caractéristiques sismiques sur les spectres de réponse.

Dans ce concept, trois groupes de séismes de tailles différents sont sélectionnés sur la base de classes de magnitudes, la 1<sup>er</sup> Classe de  $5.6 < M < 6.2$  et la 2<sup>e</sup> Classe de  $6.2 < M < 6.8$  et pour la 3<sup>ème</sup> classe d'une valeur de magnitude entre  $6.8 < M < 7.4$ . La moyenne des spectres a été calculée pour différentes valeurs d'amortissement et ensuite une comparaison a été faite. Une deuxième discussion a été faite sur la base de condition de site, trois groupes de séismes, dont chacun contient 50 enregistrements sismiques sont sélectionnés. Une comparaison entre les moyennes des spectres dans chaque groupe et pour différents valeurs d'amortissements a été faite à la fin de du travail. Il a été conclue que :

- les spectres moyennes pour les 3 classes de magnitude ont les même allures pour les différentes valeurs de  $\gamma$ . on remarque qu'il y a une petite variation des spectres de réponse pour la zone de basse périodes surtout la 1<sup>er</sup> classe de magnitude, une variation considérables pour la zone intermédiaire des périodes. Pour la zone des grande périodes, l'effet est différent en fonction de classe de magnitudes, la variation de la réponse pour la première classe reste limitée et commence d'être plus grande avec l'augmentation de valeurs de magnitude. Ces variations de spectre de réponses sont dues aux effets de l'amortissement.
- comme attendue, les valeurs de spectres de réponses augmentent avec l'augmentation de magnitude, on remarque que la valeur maximale est 6.51cm pour la première classe, 12.98cm pour la deuxième classe et 16.9cm pour la 3<sup>ème</sup> classe.
- le palier des spectres de réponse pour les périodes supérieures à 4 sec. devient de plus en plus proches au pic des réponses en augmentent les valeurs de  $\gamma$ .
- les spectres de réponse de sol A ont des valeurs spectrales plus faibles que les sols B et C.

Les résultats présentés montre la difficulté de description de l'effet de différentes caractéristiques sismiques sur les réponses spectrales des études plus approfondies sont nécessaires pour l'obtention des résultats plus fiables.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **AMOURI Chahinez** (2005), Mémoire de magister en génie civil, Construction des spectres de réponse pour la région de Constantine, Université Mentouri de Constantine.
- [2] **M. TERRIER** (Décembre 2006) avec la collaboration de **G. BERTRAND** et **A. ROULLE**, Document d'information sur le risque sismique à destination des medias.
- [3] **CHABOU Mouley Charaf**, Sciences de la Terre et de l'Univers, module de nature des enveloppes terrestres, Université de Sétif.
- [4] **BENLAALA Nawel** (2010), Mémoire de magister en génie civil, Influence de l'interaction sol structure sur la réponse sismique des bâtiments, Université Mohamed Khider de Biskra.
- [5] **HASSANI Karim** (2013), Mémoire de magister en génie civil, Effet des séismes proches et lointains sur la performance sismique des structures auto-stable en béton armé, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [6] **Les séismes** (Juin 2004), risques naturels majeurs, le ministère de l'Écologie et du Développement durable.
- [7] **YACINE Cherait** (2012), livre de génie civil, conception des bâtiments en zone sismique, Université de Guelma.
- [8] **Patrick PAULTRE** (2005), dynamique des structures, application aux ouvrages du génie civil. Hermes Science.
- [9] **KABALAN Bachar** (2012), Mémoire d'ingénieur en génie civil, Etude de comportement non linéaire sur des structures composées d'éléments pour partie ductile et pour partie non ductile, Université libanaise.
- [10] **Alain CAPRA** et **Victor DAVIDOVIC** (1982), Calcul dynamique des structures en zones sismiques, Edition Eyrolles.
- [11] **WALID Ben saada** (juin 2012), Mémoire de master 2, Réduction du risque sismique par l'introduction des amortissements dans les structures de génie civil, Université Ziane Achour de Djelfa.
- [12] **Alain PECKER** (2006), Dynamique des structures et des ouvrages ENPC.

- [13] **DAMOU Houaria** (2016), Mémoire de master en génie parasismique, Simulation d'accélérogrammes pour l'étude des réponses sismiques des sols et des structures. Université de Chlef
- [14] **Rezaeian. S, Bozorgnia. Y, Idriss IM** (2014), **Abrahamson. N, Campbell. K, and Silva.W** (2014), Damping Scaling Factors for Elastic Response Spectra for Shallow Crustal Earthquakes in Active Tectonic Regions: "Average" Horizontal Component. *Earthquake Spectra*, Vol. 30, No. 2, pp. 939-963.
- [15] **MEKKI Mohammed** (2015), Mémoire de doctorat, Approche probabiliste dans la détermination des courbes de vulnérabilité des structures en génie civil, Université de Bordeaux.
- [16] **Eurocode 8**, Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes, Partie 1: Règles générales — Actions sismiques et prescriptions générales pour les structures.