

### 3.1 Introduction

Les risques naturels sont à l'origine de situations socioéconomiques coûteuses et quelquefois graves en termes de nombre de victimes et de blessés. Dans la famille des risques naturels, les séismes occupent un problème d'actualité provoquant assez systématiquement des dégâts dans les ouvrages de génie civil (bâtiments, ponts, centrales nucléaires, barrages...etc.) C'est la raison pour laquelle la prévention et la connaissance du comportement de ces ouvrages sont indispensables [18].

Les populations ne sont toutefois pas égales devant le danger. À magnitude équivalente, un séisme sera moins destructeur dans un pays préparé et qui a intégré dans sa culture la construction parasismique (cas des États-Unis notamment) que dans un pays défavorisé ou trop laxiste, où les règles de l'art ne sont pas respectées. Cela ne signifie pas que les pays industrialisés sont à l'abri pour autant (séisme de Kobé de 1995, Japon).

Le propre de la construction parasismique n'est pas de protéger à tout prix, seulement de limiter les dégâts. Nulle ville dans le monde n'est réellement à l'abri d'un séisme majeur dépassant en intensité les prévisions initiales.

### 3.2 Disponibilité des données de sismicité historique en Algérie :

Les catalogues de la sismicité en Algérie, généralement, ne couvrent qu'une partie de l'histoire sismique du pays. Néanmoins, les nombreuses études menées depuis essentiellement 1980, à la suite du séisme du 10 Octobre d'El Asnam, ont permis au moins de relever les carences et d'en y remédier par des investigations dans les archives et autres documents anciens. Quatre principales périodes peuvent être remarquées [19]:

- Période antérieure à 1850. Pour la région de Constantine nous n'avons malheureusement aucun document ou autres indications sur les séismes qui ont eu lieu dans cette région avant 1850. Pour la région de l'algérois, Ambraseys et Vogt,(1988) ont pu identifier certains événements importants dans les anciennes archives jusqu'à la période de 1365.
- Période 1850-1900. C'est une période relativement incomplète dans la mesure où il n'y a que les séismes destructeurs qui ont été enregistrés. Même si les techniques récentes de l'analyse de la sismicité historique ont évolué, la plupart des données sont sous forme de description historiques.
- Période 1900-1990. La sismicité de cette période peut être considérée comme instrumentales et donc suffisamment documentée, même si le premier instrument sismographe

en Algérie n'est installé qu'en 1917, à Bouzareah (Alger), tous les séismes de magnitude  $\geq 4.0$  ont été enregistrés.

·Période 1990 à nos jours. Avec les techniques récentes d'analyse des enregistrements et la densification des réseaux à travers le monde, notamment dans la région périméditerranéenne,

cette période est connue parfaitement et donc toutes les secousses de magnitudes supérieures à 3.0 sont automatiquement enregistrées.

### **3.2.1 Historique :**

La sismicité de l'Algérie du nord est maintenant connu depuis 1365, date du séisme qui frappé la ville d'Alger. Les nombreux travaux qui se sont intéressés à l'historique de la sismicité a donné lieu à une série de catalogues. Ces catalogues montrent que la sismicité est concentrée dans la région nord du pays.

Plusieurs séismes importants se sont produits au cours de l'historique touchant parfois sévèrement des villes comme Alger (1716), Oran (1790), Blida (1825), Ténès (1891) .

La connaissance de la sismicité s'est nettement améliorer avec la mise en place depuis le début du vingtième siècle des stations sismologiques autonomes (Alger, Tlemcen, Sétif, ... ) puis du réseau télétré installé à partir de 1990

***Tableau 3.1 Séismes majeurs qui ont frappé le territoire Algérien[15]***

Séisme	date	Magnitude	Intensité (MMI)	Décès	Blessés	Sans Abri	Structures Détruites
<b>El –Asnam</b>	10.10.1980	7.3	X	5 000	20 000	120 000	7 000
<b>Constantine</b>	27.10.1985	6.0	VIII-IX	5	300	-	-
<b>Chenoua</b>	29.10.1989	6.0	VIII	35	700	50000	4095
<b>Beni Chougrane</b>	18.08.1994	5.6	VIII	172	292	10000	751
<b>Temouchent</b>	22.11.1999	5.5	VIII	25	174	25000	600
<b>Boumerdes</b>	21.05.2003	6.8	IX	2287	11000	100000	19000

### 3.3 Tendances

Actuellement, une tendance claire à l'augmentation des pertes liées aux dangers naturels en général et aux tremblements de terre en particulier est observée dans le monde. Cette évolution s'explique principalement par la croissance constante du parc d'ouvrages menacés et par l'augmentation importante de la valeur exposée au risque. De plus, la vulnérabilité des systèmes exposés ne baisse pas ou ne baisse que très lentement, (Figure 3.1) [20].

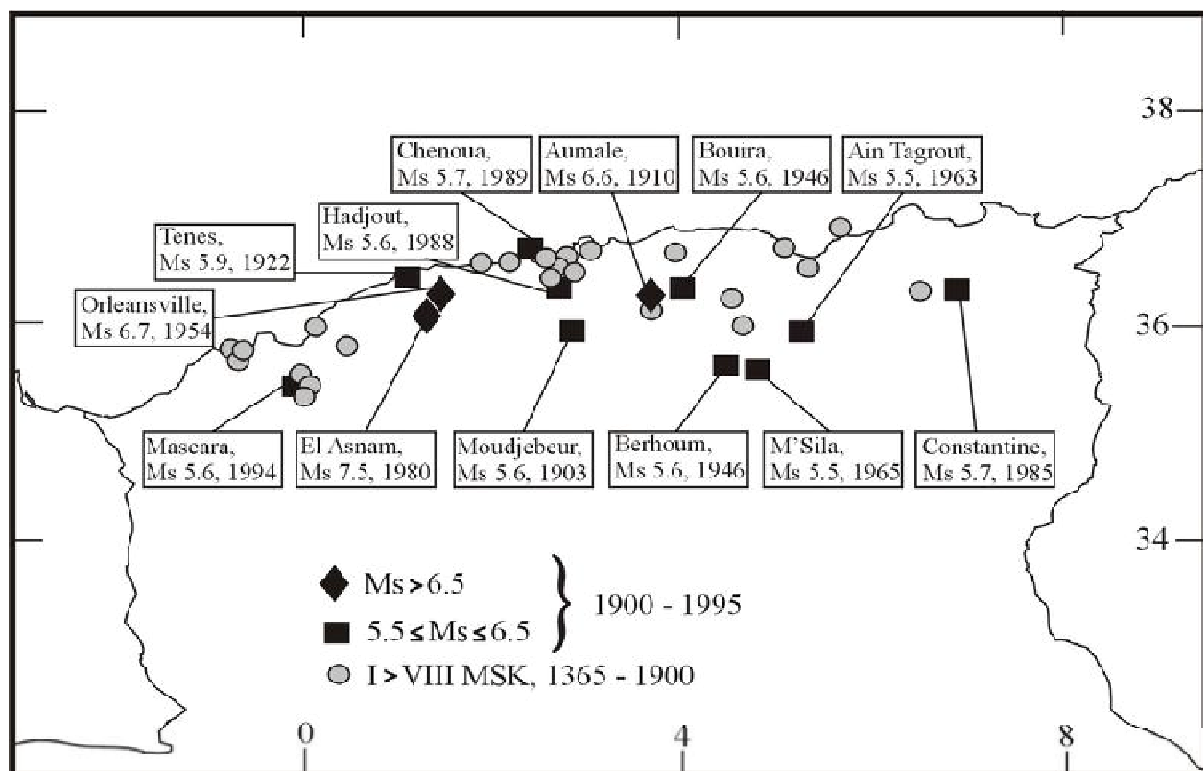


Figure3-1- Sismicité au XX<sup>ème</sup> siècle en Algérie.



*Figure 3. 2 Séismes ajeurs qui ont frappé le territoire Algérien de 1900 à 2003[15].*



### 3.4 Notion de base

Les différents paramètres constitutifs du risque sont l'aléa, la vulnérabilité et les valeurs exposées au risque considéré. Le risque sismique est exprimé sur la base des termes des équations (3.1) et (3.2), définies par l'Organisation des Nations Unies. Les éléments constitutifs du risque sont présentés schématiquement sur la figure 3.3

- **Risque** est défini par la probabilité de pertes en biens, en activités productives et en vies humaines, pendant une période de temps donnée [1]. Il est le produit de trois facteurs :

$$\text{Risque} = \text{Danger} \times \text{Conséquences} \quad (3.1)$$

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \overbrace{\text{Vulnérabilité} \times \text{Valeur}} \quad (3.2)$$

- **Aléa** (Hazard): Probabilité d'occurrence, dans une région et au cours d'une période donnée, d'un phénomène naturel susceptible de causer des dommages [2].

- **Vulnérabilité** (Vulnerability): Degré de perte ou d'endommagement d'un élément donné exposé au risque (ou d'un ensemble d'éléments), résultant de l'occurrence d'un phénomène naturel de magnitude donnée et s'exprimant sur une échelle de 0 (absence de dommages) à 1 (perte totale) [2].

- **Valeur exposée aux risque** (Elements at Risk): Populations, constructions, activités civiles, services publics, installations et infrastructures, etc., exposés au risque dans une région donnée [2].

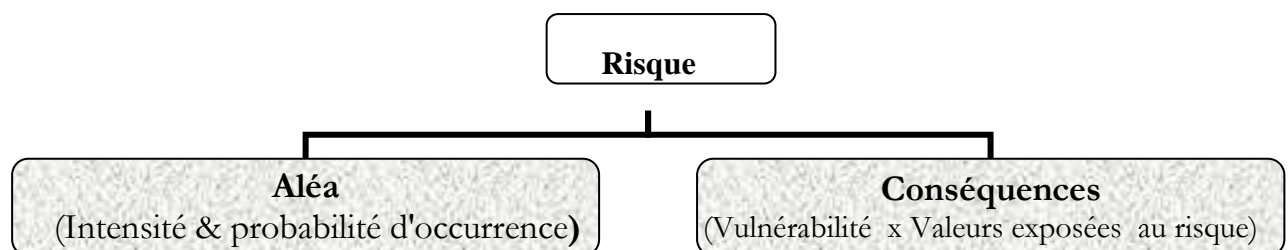


Figure 3.4 Eléments constitutifs du risque

### 3.5 Risque sismique

(Seismic risk) est la probabilité de pertes au cours d'une période de référence dans la région considérée.

- Proportionnelle au nombre de vies humaines et à la valeur des biens exposés.
- Dépend de l'occupation humaine de la région considérée [1].

**3.5.1 Aléa sismique** est la probabilité d'occurrence du phénomène sismique, c'est à dire du mouvement sismique du sol pour un site ou une région donnée une même période de temps donnée [1].

#### **3.5.1.1 Aléa sismique régional**

Il se définit à l'échelle de 1/200000 ou de 1/100000 : il caractérise un mouvement sismique au (rocher horizontal), pour une région idéalisée, topographiquement et géologiquement homogène. Dans sa forme la plus complète, la cartographie de l'aléa sismique consiste à déterminer des zones sympathicotoniques homogènes puis à y attacher des événements sismiques, avec leur loi d'occurrence, et à en trouver l'effet, en tout point, par des lois d'atténuation. Dans sa forme réduite, la cartographie consiste à définir un zonage d'après la sismicité historique [21].

En Algérie la carte d'aléa sismique régional, donnant l'accélération maximum sur le rocher, a été établie pour une période de retour de 475 ans, cela a conduit à la définition de zones sismiques associées à une valeur d'accélération maximale. Cette dernière a été modifiée après le séisme du 21 mai 2003 Boumerdes (voir tableaux 3.2 et 3.3).

#### **- Classification des zones sismiques avant la modification**

Le territoire national est divisé en quatre (04) zones de sismicité croissante présentées dans la figure 3.4 [22]:

- ⇒ Zone O : sismicité négligeable
- ⇒ Zone I : sismicité faible
- ⇒ Zone II : sismicité moyenne
- ⇒ Zone III : sismicité élevée

#### **- Classification des zones sismiques après la modification :**

On distingue 5 zones (voir figure 3.5) :

- ⇒ Zone 0 : sismicité négligeable
- ⇒ Zone I : sismicité faible

⇒ Zones IIa et IIb : sismicité moyenne

⇒ Zone III : sismicité élevée

**Tableau 3.2** Coefficients d'accélération en fonction de zone sismique et groupe d'usage  
RPA99 [23]

	Zone Sismique		
Groupe D'usage	I	II	III
1A	0,12	0,25	0,35
1B	0,10	0,20	0,30
2	0,08	0,15	0,25
3	0,05	0,10	0,15

**Tableau 3.3** Coefficients d'accélération en fonction de zone sismique et groupe d'usage  
RPA99 Version 2003 [23]

	Zone Sismique			
Groupe D'usage	I	Iia	Iib	III
1A	0,15	0,25	0,30	0,40
1B	0,12	0,20	0,25	0,30
2	0,10	0,15	0,20	0,25
3	0,07	0,10	0,14	0,18

Après la comparaison des coefficients d'accélération précédemment présentés dans les tableaux 3.2 et 3.3, on a pu déduire que le coefficient d'accélération a augmenté de 20% à 40% dans la même zone sismique, également on a constaté que ce dernier a augmenté de



20% à 40% à cause du transfert de quelques régions d'une zone sismique vers d'autre zone dont le coefficient d'accélération est supérieur et par conséquent un accroissement du coefficient d'accélération qui entre dans le calcul des efforts tranchants à la base des structures (voir formule 3.3), cela provoque la vulnérabilité des bâtis existants , ce qui nous oblige de réévaluer ces derniers parce qu'ils ont été dimensionnés selon des coefficients d'accélération inférieurs aux coefficients actuels .

$$V = \frac{A.D.Q}{R} W \quad (3.3)$$

**Tableau 3.4** *Accroissement du coefficient d'accélération de l'RPA 99 version par rapport à l'RPA99.*

	Zone			
Groupe d'usage	I	Iia	Iib	III
1A	25%	0%	20%	14%
1B	20%	0%	25%	0%
2	25%	0%	33%	0%
3	40%	0%	40%	20%



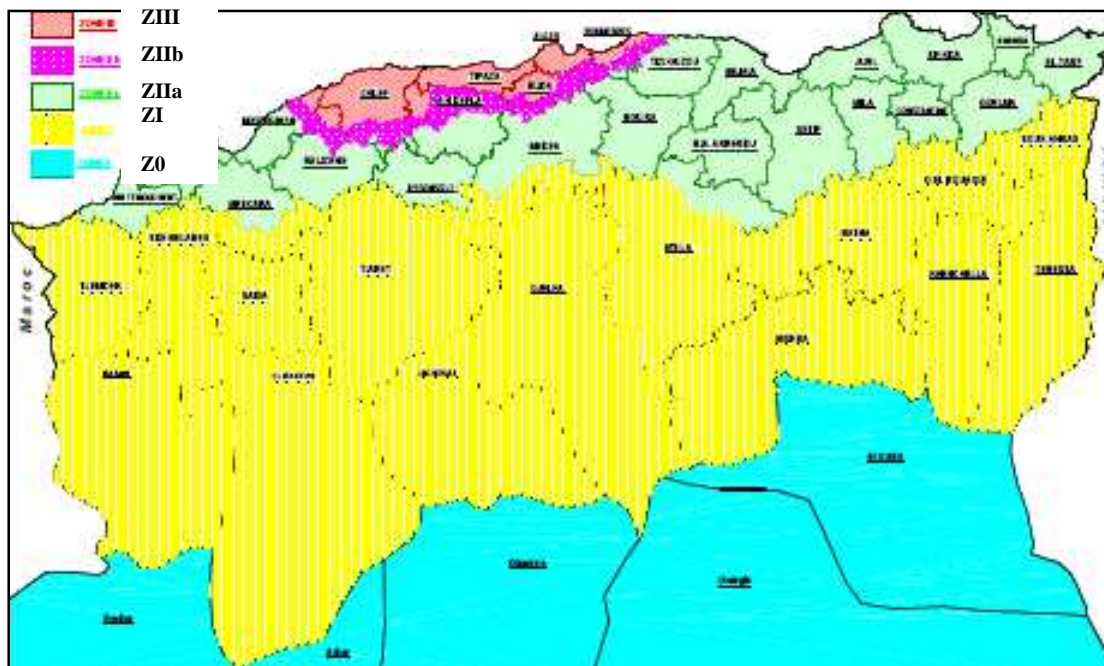


Figure 3.6 Carte d'aléa sismique régionale après la révision (RPA 99 version 2003).

### 3.5.1.2 Aléa sismique local

Les effets du séisme peuvent être plus ou moins destructeurs d'un lieu à l'autre, pour une même construction, parfois à quelques dizaines de mètres près [2].

Les effets engendrés par les séismes sont de deux natures différentes : effets directs et effets indirects.

**a- effets directs** sont les mouvements du sol de fondation des ouvrages, de type oscillatoire ; ces phénomènes peuvent être amplifiés par des effets de site dus à la topographie, à l'hétérogénéité des sols, à la présence de sols de qualité médiocre ou à la présence en sous-sol de galeries de mine [23].

#### **- Effets de Site**

L'influence du sol sur l'action sismique à la fondation de la structure peut être importante. Entre l'accélération au sol rocheux (bedrock) et l'accélération en surface, il peut y avoir une amplification non négligeable du mouvement sismique en fonction du type de sol que les ondes sismiques traversent avant d'arriver en surface. La figure 3.6 illustre dramatiquement ce phénomène dans le cas du séisme de Mexico du 19 septembre 1985 [21].

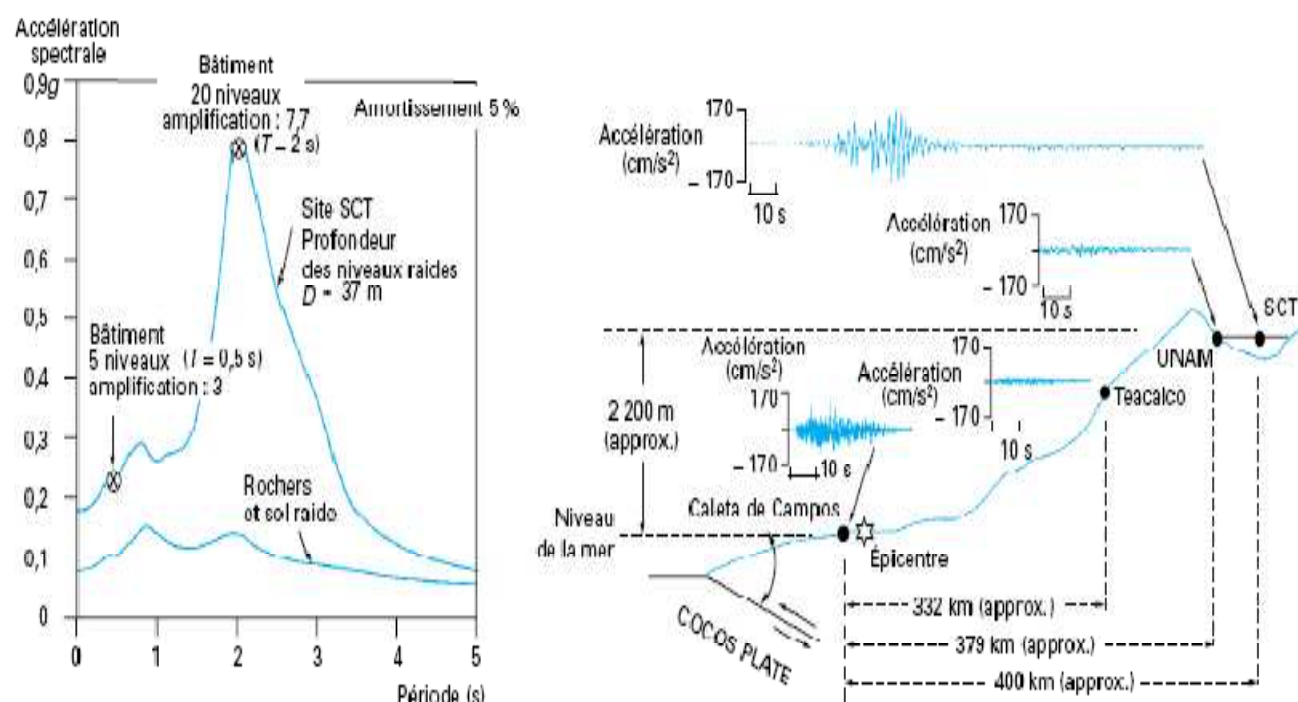


Figure 3.7 Accélérogrammes enregistrés lors du séisme du Mexique du 19-09-85

Les règles parasismiques Algériennes RPA 99 version 2003 considèrent quatre (04) classes de sol (S1, S2, S3, S4) auxquels sont associés les facteurs d'amplification D (voir figure 3.7) [22]:

#### - Catégories et Critères de classification

- S1** : Site rocheux ( $V_s > 800$  m/s);
- S2** : Site ferme ( $V_s > 400$  m/s, à partir de 10 m de profondeur)
- S3** : Site meuble ( $V_s > 200$  m/s, à partir de 10 m de profondeur)
- S4** : Site très meuble ( $V_s < 200$  m/s, dans les 20 premiers mètres)

A chaque type de site est associé un spectre de réponse en accélération en considérant les périodes caractéristiques (voir tableau 3.5) :

Tableau 3.5 Type de site en fonction des périodes de transition

Site	S1	S2	S3	S4
<b>T1 (sec)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15
<b>T2 (sec)</b>	0.30	0.40	0.5	0.70

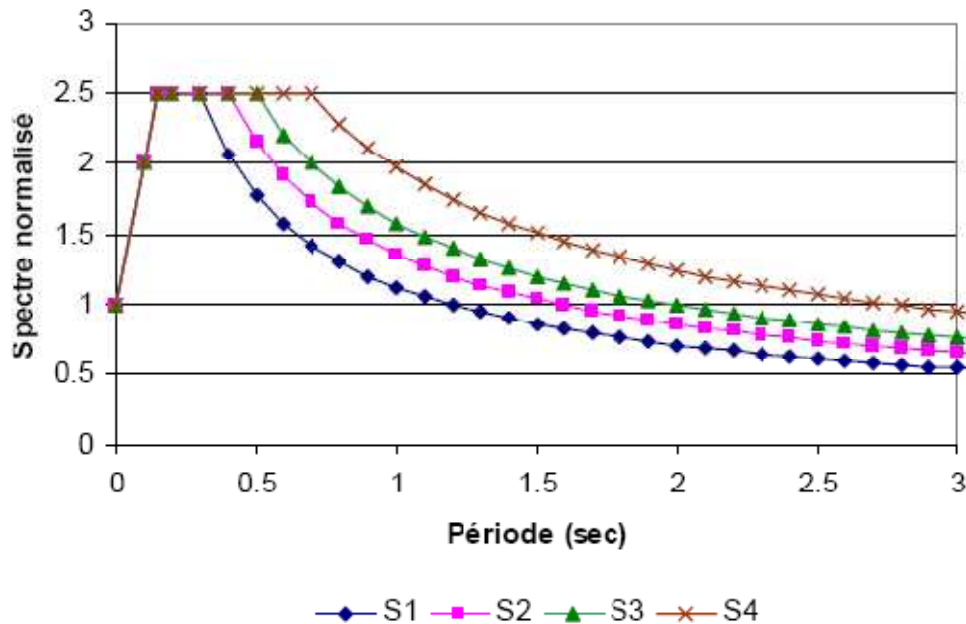


Figure 3.8 Spectres de réponse élastiques normalisés RPA 99 [23]

**b- effets indirects:** sont des phénomènes associés à l'ébranlement du sol qui entraîne, sous l'effet des vibrations, une rupture de sa cohésion : glissements de terrain, liquéfaction et perte de portance des sols, affaissement ou tassement des terrains [23]

#### - Liquéfaction

Dans le cas de présence de couches de sable ou limon non cohérents à grains de faibles dimensions (0.05 à 2mm) à proximité de la surface, la présence d'eau est un facteur de déclenchement du phénomène de "liquéfaction" en cas de secousse sismique [23]. La figure 4.8 illustre un exemple de liquéfaction du sol après le séisme du 21 mai 2003 de Boumerdes [21].



*Figure 3.9 Liquéfaction du sol aux abords de l'oued Isser Boumerdes[22]*

### 3.5.2 Vulnérabilité sismique

La vulnérabilité exprime la capacité de réponse d'une structure, à une sollicitation sismique donnée. Elle est fonction de nombreux paramètres physiques, comme par exemple le matériau de construction utilisé, les périodes de vibration fondamentales ou encore la géométrie en plan ou en élévation de l'ouvrage. Ce paramètre sera amplement étudié dans le chapitre IV.

### **3.5.2.1 Vulnérabilité des nouvelles constructions**

Il s'agit de construire des bâtiments qui présentent une réponse satisfaisante pour tous les niveaux d'intensité sismique. Selon les principes de "performance based design", une performance satisfaisante signifie peu ou pas de dégâts pour les séismes de faible intensité et relativement fréquents, et la garantie de la sécurité structurale pour les séismes intenses et rares [20].

### **3.5.2.2 Bâti existant**

La vulnérabilité sismique du patrimoine bâti existant, en particulier des bâtiments construits avant l'introduction de prescriptions parasismiques modernes dans les normes de construction, est centrale pour l'évaluation du risque. Cette vulnérabilité est encore mal connue et difficile à quantifier. Les études conduites à ce jour ne permettent qu'une estimation limitée de la vulnérabilité effective du bâti existant. Des projets d'évaluation sur des bâtiments types doivent donc se poursuivre afin de mieux la quantifier et d'identifier les types de bâtiments existants les plus vulnérables [20].

### **3.5.3 Valeur exposée au risque sismique:**

Correspond à la valeur des biens et des personnes exposés à l'aléa sismique. Cette valeur dépend de l'importance de la construction. Elle est de nature socioéconomique. Dans le cas du danger naturel sismique, la « valeur exposée au risque » est avant tout celle des bâtiments, de leurs occupants et de leur contenu ainsi que des activités économiques qu'ils abritent [1].

### 3.6 Conclusion

Comme on l'a présenté dans ce chapitre, le risque sismique est constitué de trois paramètres fondamentaux : l'aléa, la vulnérabilité et la valeur exposée au risque considéré. Une meilleure connaissance de l'aléa sismique constitue une prévention efficace et une première étape vers la prise en charge des mesures de réduction des risques.

La vulnérabilité a un caractère essentiel pour le risque sismique, puisque c'est principalement ce paramètre de risque que va pouvoir modifier l'ingénieur. La valeur exposée au risque sismique dépend de l'importance de la construction. Elle est de nature socioéconomique.