

1.1 Introduction :

Le séisme est le risque naturel majeur le plus meurtrier et qui cause le plus de dégâts. Si le mécanisme du séisme est aujourd’hui mieux connu, tant du point de vue de son origine que de sa propagation, il reste encore un phénomène imprévisible. Faute de prévisibilité, c'est donc par une approche statistique probabiliste que le problème est appréhendé.

Les populations ne sont toutefois pas égales devant le danger. A magnitude équivalente, un séisme sera moins destructeur dans un pays préparé et qui a intégré dans sa culture la construction parasismique (cas du Japon et des États-Unis par exemple) que dans un pays défavorisé, où les règles de l'art ne sont pas respectées.

Cela ne signifie pas que les pays industrialisés sont à l'abri pour autant. Le propre de la construction parasismique n'est pas de garantir une protection totale mais seulement de minimiser et limiter les dégâts en cas de séisme majeur dépassant en intensité les prévisions initiales.

Définition : Un séisme est une vibration du sol provoquée par une rupture brutale des roches de la lithosphère (couche solide externe) le long d'une *faille*. Une *faille* est une zone de rupture en profondeur dans la roche le long de laquelle les deux bords se déplacent l'un par rapport à l'autre.

Les séismes peuvent être distingués selon leur origine :

- **Les séismes naturels :**

Séismes tectoniques (inter-plaques, intra-plaques), séismes volcaniques ;

- **Les séismes liés à l'activité humaine.**

1.2.1 Séismes naturels :

1.2.1.1 Séismes inter-plaques :

Dans la majorité des cas, les séismes se déclenchent en limite de plaques. C'est au niveau de ces contacts inter-plaques que les contraintes occasionnées par la tectonique des plaques sont les plus fortes. En raison des frottements importants au niveau d'une faille, le mouvement entre les blocs de roche de part et d'autre de la faille est bloqué. De l'énergie est alors stockée le long de la faille, parfois pendant plusieurs années.

Lorsque la limite de résistance des roches est atteinte, cette énergie accumulée est libérée, sous forme de chaleur, de déplacements permanents des blocs et d'ondes sismiques. Quand les déplacements des blocs rétablissent un nouvel équilibre, le mouvement est à nouveau bloqué.

1.2.1.2 Séismes intra-plaques :

À l'intérieur des plaques tectoniques, des failles peuvent occasionner des séismes, correspondant à des réajustements de forces dans la croûte terrestre, généralement moins puissants que les séismes inter-plaques.

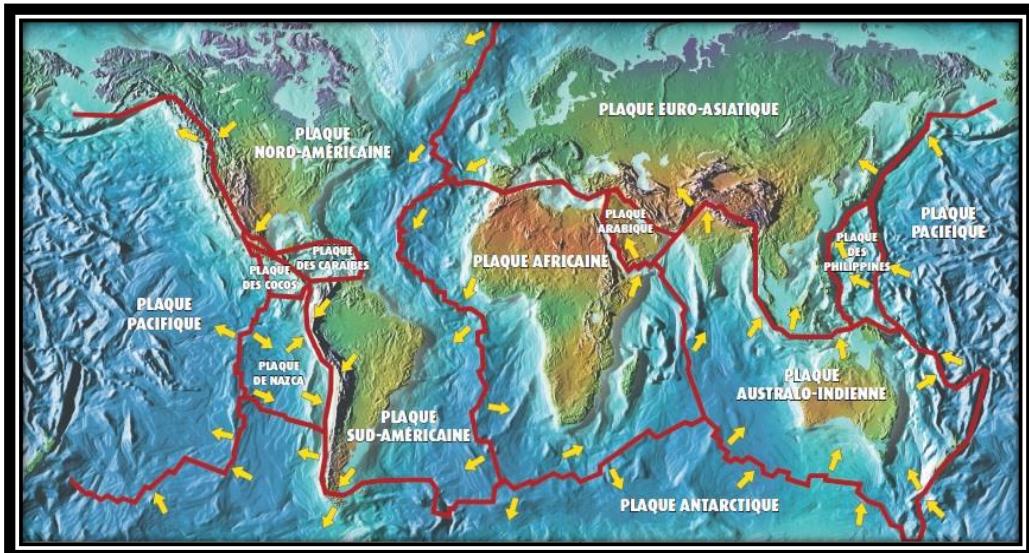
Les séismes intra-plaques peuvent néanmoins être très violents, comme en Chine centrale.

1.2.1.3 Les séismes liés à l'activité volcanique :

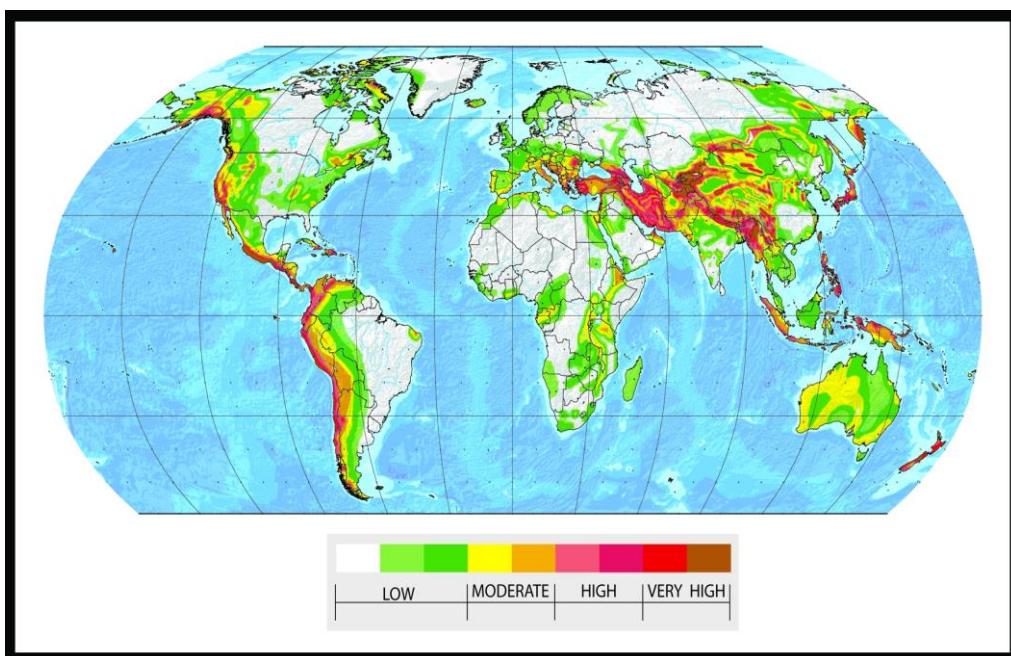
Les éruptions volcaniques, autres phénomènes associés à la tectonique des plaques, occasionnent une multitude de séismes et de microséismes. Ces derniers permettent de prédire l'imminence d'une éruption.

1.2.2 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, minéraux, etc.).



Carte des principales plaques tectoniques dans le monde



Séismicité élevée aux niveaux des lignes inter-plaques

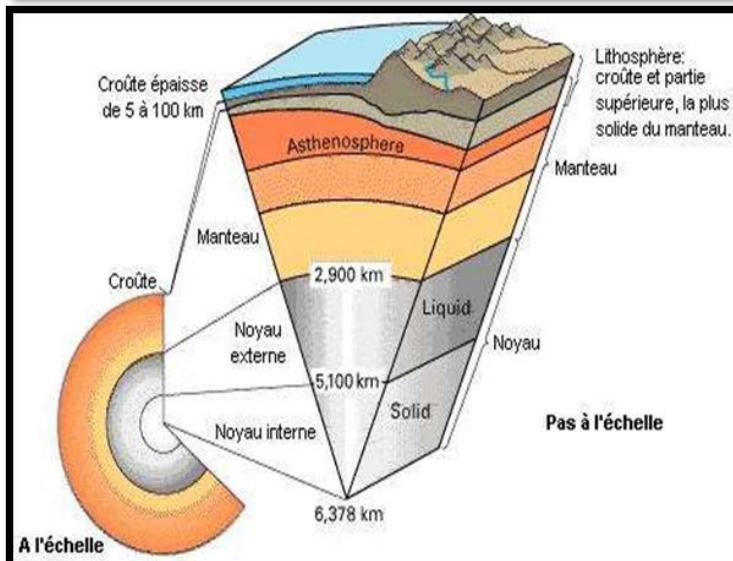
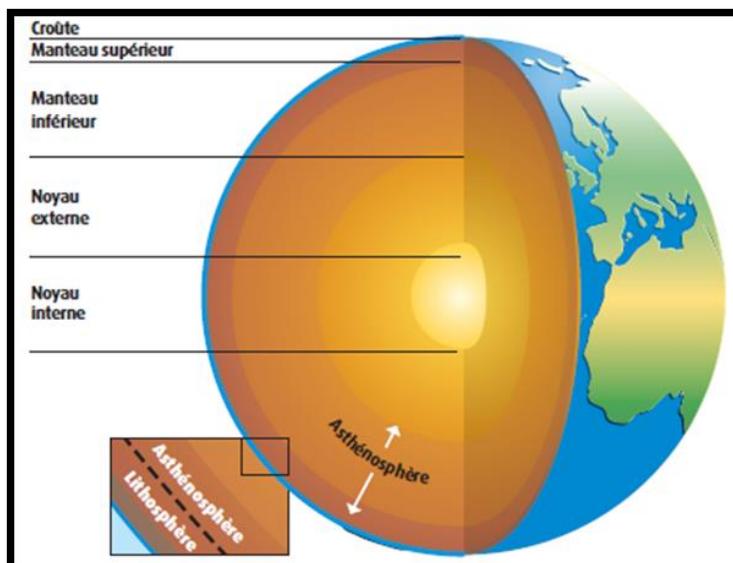
1.3 Structure de la terre :

La terre est constituée de plusieurs couches de composition chimique, de densité et de température différentes.

-Au centre, le noyau représente 15% du volume terrestre, et qui se divise en noyau interne solide et noyau externe visqueux

-Le manteau est la couche qui constitue principalement le volume terrestre (soit 84%), Le manteau inférieur et une grande partie du manteau supérieur forment l'asthénosphère, (couche ductile qui peut se déformer sans rompre). La partie externe du manteau supérieur et la croûte forment la lithosphère, couche rigide.

-La croûte (ou écorce), qui compte pour moins de 2% en volume, a une épaisseur qui varie entre 10 et 100km.

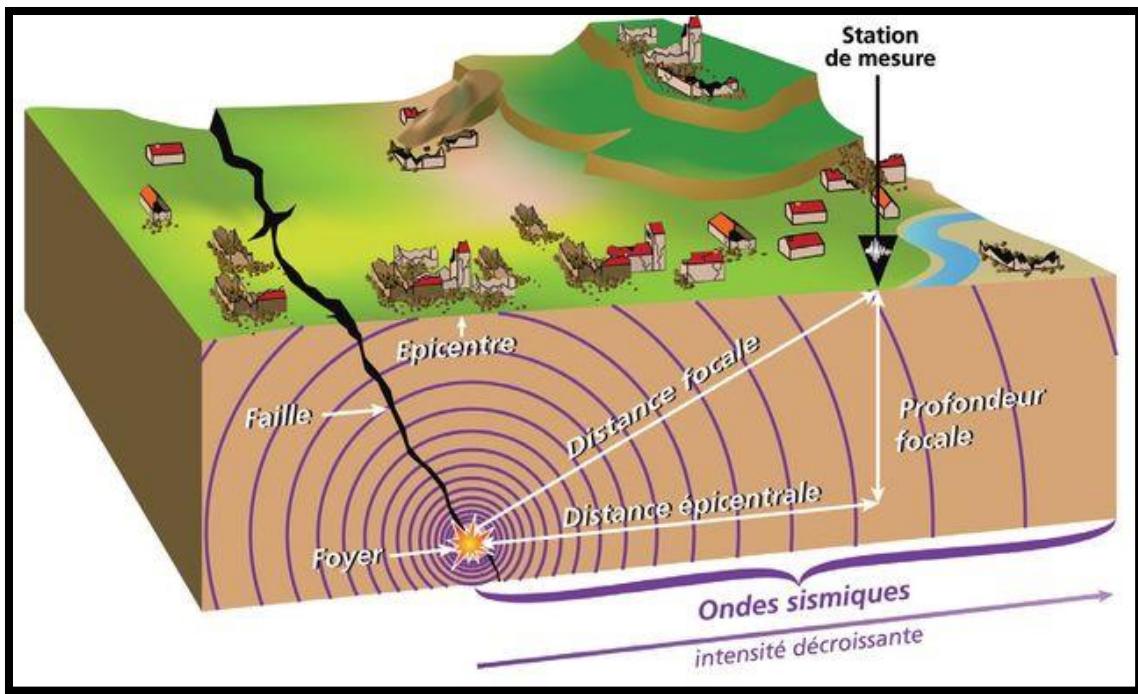


-La lithosphère est la couche solide externe comprenant une partie du manteau supérieur et la croûte terrestre, elle est divisée en plaques qui se déplacent les unes par rapport aux autres sous l'effet des courants de convection qui animent l'asthénosphère, couche plastique du manteau supérieur.

Les courants de convection dans l'asthénosphère générés par la forte chaleur du noyau sont la cause du déplacement des plaques tectoniques.

Devant la contrainte imposée par le mouvement de ces plaques rigides, les roches superficielles se déforment de façon élastique jusqu'à un certain point de rupture à partir duquel elles cassent brutalement le long d'une ou plusieurs failles (lorsque les contraintes deviennent trop élevées et supérieures à la *résistance au frottement*).

La rupture brutale des roches en profondeur se situe en un point appelé foyer (à la verticale de l'épicentre).



-Le foyer (ou hypocentre) :

Le foyer d'un séisme est la région de la faille où commence la rupture et d'où partent les ondes sismiques. Les séismes qui génèrent des dégâts ont habituellement des foyers situés dans les cent premiers kilomètres de la lithosphère.

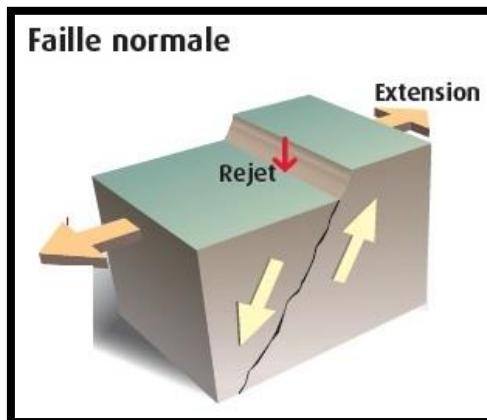
-L'épicentre :

C'est le point situé à la surface terrestre à la verticale du foyer.

Il existe trois types de failles :

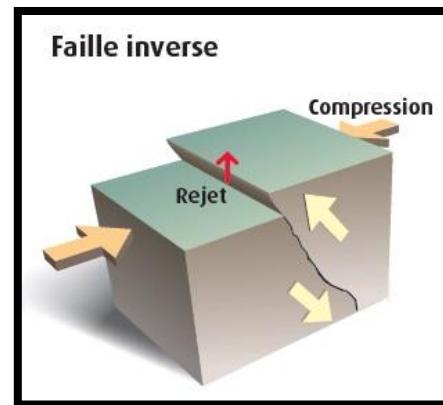
Les failles normales :

La déformation entraîne un étirement des roches initiales. Elles résultent de mouvements d'écartement (divergence).

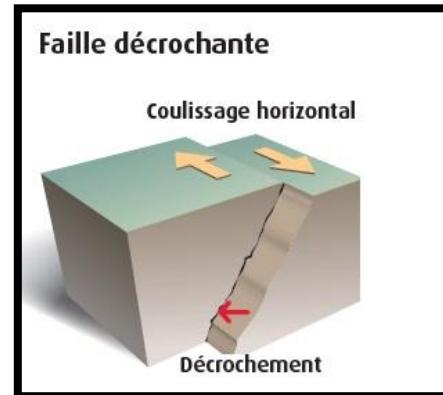


Les failles inverses :

La déformation entraîne un raccourcissement des terrains initiaux. Elles résultent de mouvements de rapprochement (convergence).

Les failles décrochantes:

Les failles en décrochement provoquent un déplacement des blocs uniquement dans le sens horizontal.



San Andreas Californie



Alaska USA

1.4 Les ondes de vibration :

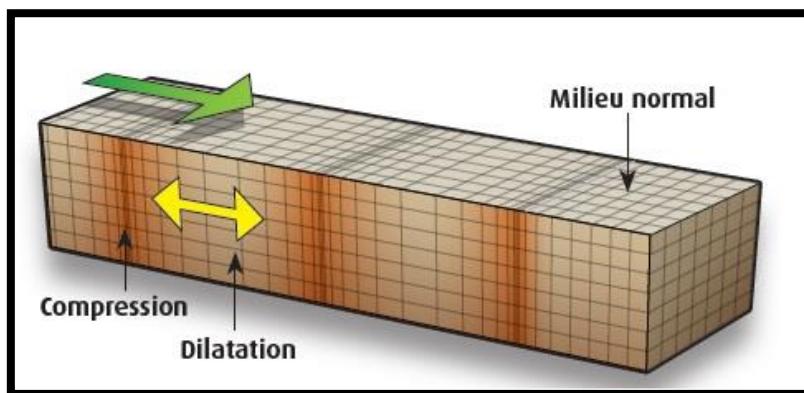
À partir du foyer, la secousse sismique se propage sous forme d'ondes de divers types, qui compte tenue de l'hétérogénéité du sol, engendrant en surface un mouvement complexe. On distingue :

➤ Ondes de volumes

Elles prennent naissance dans le foyer et se propagent à l'intérieur de la terre sous deux formes :

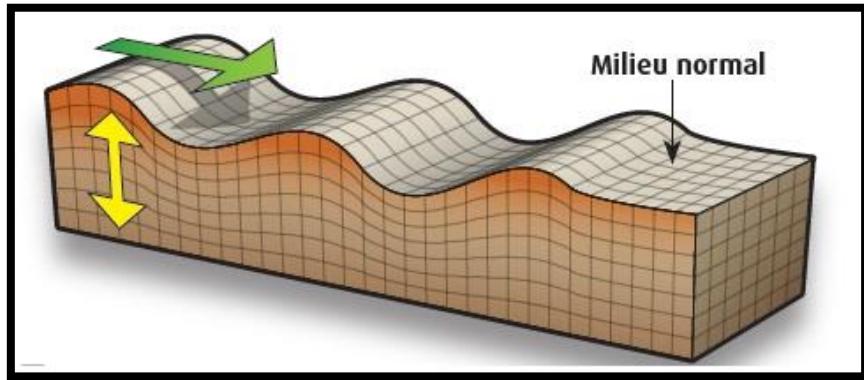
Ondes P : ou ondes longitudinales, elles se propagent avec une vitesse de 7 à 8 km/s et s'accompagnent d'un changement de volume (compression et dilatation alternées)

L'onde P comprime et étire alternativement les roches. On l'enregistre bien sur la composante verticale du sismomètre.



Ondes S : ou les ondes transversales, elles se propagent avec une vitesse de 4 à 5 km/s et s'accompagnent d'une distortion dans le plan perpendiculaire de la direction de propagation, provoquant un cisaillement sans changement de volume.

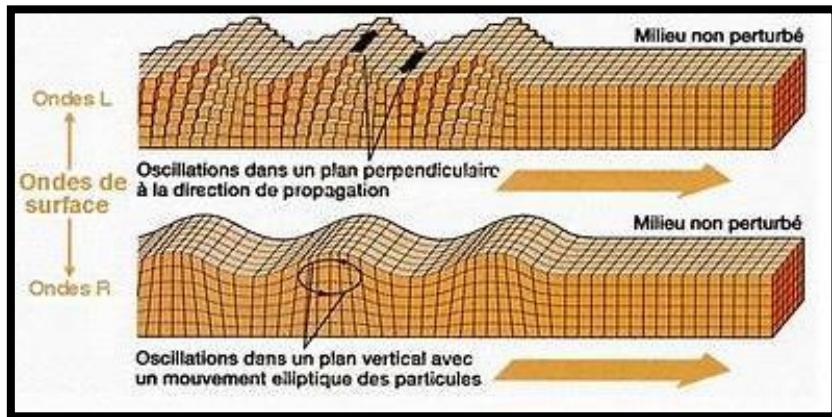
L'onde S se propage en cisaillant les roches latéralement à angle droit par rapport à sa direction de propagation. On l'enregistre bien sur les composantes horizontales du sismomètre.



À la différence des ondes longitudinales, les ondes transversales ne peuvent se propager dans les milieux liquide ou gazeux, en raison de l'inaptitude de ces milieux à transmettre les efforts de cisaillement.

➤ Ondes de surfaces

Lorsque les ondes de volume arrivent à la surface de la Terre, elles produisent des ondes de surface n'impliquant le sol que sur une profondeur extrêmement faible.



Les ondes R ou les ondes de Rayleigh :

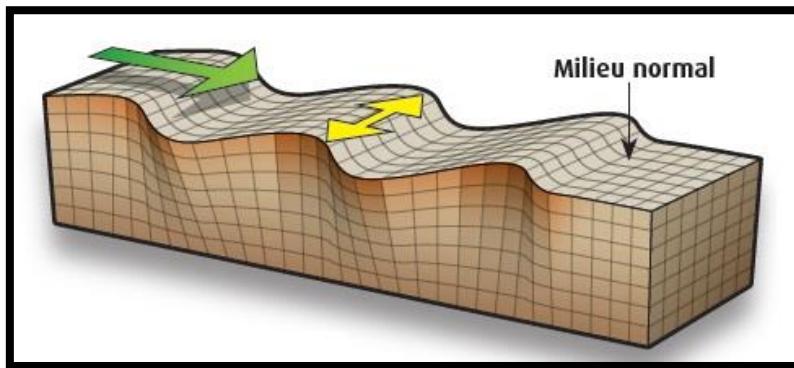
Ce sont des ondes pour lesquelles les points du sol décrivent des ellipses dans le plan vertical de la propagation. Ce mouvement est semblable au mouvement de la houle et entraîne des compressions (ou des tractions) ainsi que des cisaillements dans le sol.

Le déplacement des particules est à la fois horizontal et vertical. Cette onde est enregistrée sur les trois composantes du sismomètre.

Les ondes L :

Ce sont des ondes pour lesquelles les points du sol se déplacent dans un plan tangent à la surface, perpendiculairement à la direction de propagation, elles n'engendrent que des contraintes de cisaillement. Les ondes L provoquent une vibration horizontale qui est la cause de nombreux dégâts aux fondations des édifices.

Les ondes de surface ont une vitesse de propagation de 1,5 à 5km/s dans les terrains compacts et de 0,5 à 1,5 km/s dans les terrains meubles



Ondes de surfaces

1.5 Les effets et les conséquences d'un séisme :

Un séisme se traduit à la surface terrestre par des vibrations du sol et parfois des décalages de la surface du sol de part et d'autre des failles. L'ampleur des vibrations dépend en premier lieu de la magnitude d'un séisme, de la profondeur du foyer et de la distance épcentrale à laquelle on se trouve.

1.6 Quantification de la violence d'un séisme :

1.6.1 La magnitude M (Echelle de Richter) :

C'est une évaluation de l'énergie libérée au foyer du tremblement de terre.

Le calcul de la magnitude fut développé en 1935 par Charles Richter pour caractériser les séismes enregistrés localement en Californie. Elle est fonction de l'amplitude maximale qu'enregistre un sismographe particulier à 100 km de l'épicentre.

La magnitude calculée à partir de l'amplitude du signal enregistré par un sismomètre et de la durée du signal lire sur le sismogramme nécessite plusieurs corrections tenant compte du type de sismographe utilisé, de la distance entre le séisme et la station d'enregistrement, de la profondeur du séisme, de la nature du sous-sol où se trouve la station d'enregistrement. Les corrections permettent de calculer partout dans le monde la même magnitude pour un même séisme.

Magnitude	Énergie libérée	Durée de la rupture	Valeur moyenne du rejet	Longueur moyenne du coulissage	Nbre de séismes par an dans le monde (ordre de grandeur)
9	$E \times 30^5$	250 s	8 m	800 km	1 tous les 10 ans
8	$E \times 30^4$	85 s	5 m	250 km	1
7	$E \times 30^3$	15 s	1 m	50 km	10
6	$E \times 30^2$	3 s	20 cm	10 km	100
5	$E \times 30$	1 s	5 cm	3 km	1 000
4	E	0,3 s	2 cm	1 km	10 000
3	$E/30$				> 100 000
2	$E/30^2$				
1	$E/30^3$				

La relation qui existe entre la magnitude et l'énergie sismique libérée montre qu'un séisme de magnitude 7 libère à lui seul autant d'énergie qu'une trentaine de séisme de magnitude 6.

1.6.2 L'intensité I :

L'intensité est un paramètre traduisant la sévérité de la secousse au sol en fonction des effets et dommages du séisme en un lieu donné. Ce n'est pas une mesure par des instruments ; l'intensité est évaluée à partir de la perception du séisme par la population et des effets du séisme à la surface terrestre (effets sur les objets, dégâts aux constructions, modifications de la surface du sol...).

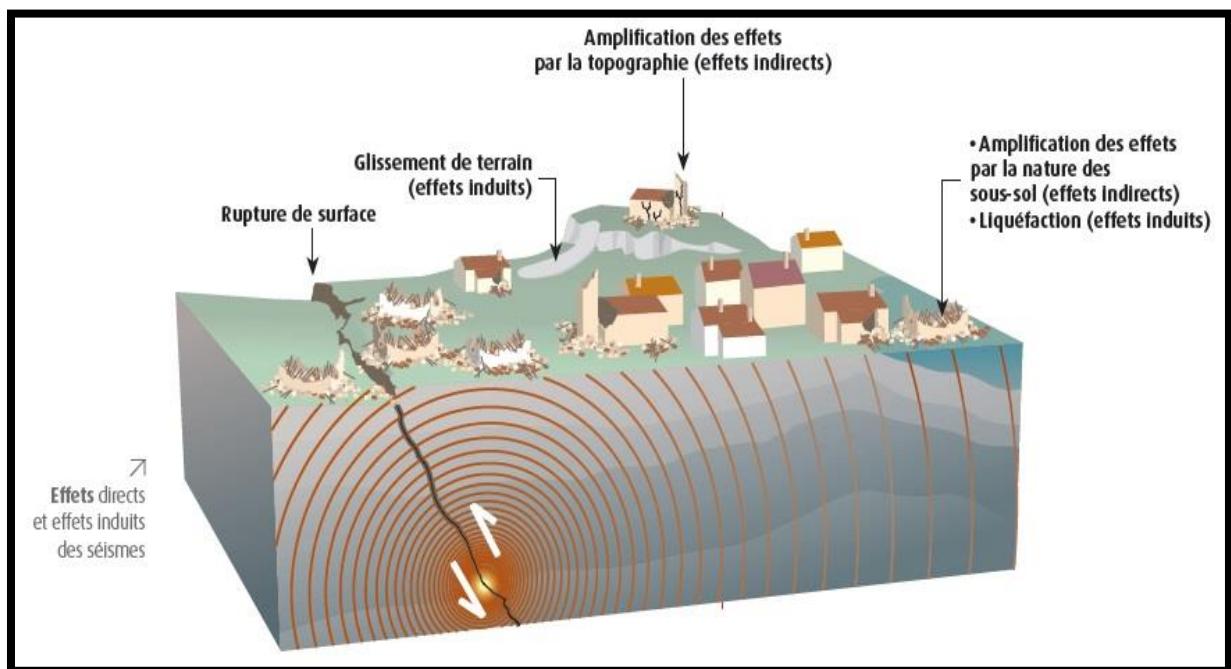
L'intensité n'est donc pas, contrairement à la magnitude, fonction uniquement du séisme, mais également du lieu où l'intensité est évaluée. De manière générale, l'intensité est maximale à l'épicentre et décroît au fur et à mesure qu'on s'en éloigne. Néanmoins, des conditions géologiques et topographiques locales (effets de site) peuvent localement accroître l'intensité.

ÉCHELLE D'INTENSITÉ DE MERCALLI		MAGNITUDE A L'ÉCHELLE RICHTER	
I	Séisme perçu uniquement par quelques personnes dans des circonstances particulières; détecté seulement par des instruments très sensibles.	2	6
II	Perçu par quelques personnes au repos et se trouvant aux étages supérieurs; balancement d'objets suspendus.	3	7
III	Perçu principalement par des personnes à l'intérieur des édifices. Les automobiles stationnées peuvent bouger.	4	8
IV	Perçu par la plupart des gens à l'intérieur des édifices et par certains à l'extérieur; suffisant pour réveiller certaines personnes. Bruits de vaisselle, fenêtres et portes.	5	9
V	Perçu par presque tout le monde; plusieurs personnes sont réveillées. Bris de vaisselle et de fenêtres; les objets instables sont renversés.		
VI	Perçu par tout le monde; plusieurs personnes sont effrayées et courrent à l'extérieur; quelques meubles sont déplacés; quelques morceaux de plâtre tombent et quelques dommages aux cheminées. Dommages légers.		
VII	La plupart des gens paniquent et courrent à l'extérieur; dommages minimes aux constructions conçues pour les zones sismiques, de minimes à moyens chez les bonnes constructions ordinaires, importants chez les mauvaises constructions. Meubles renversés.		
VIII	Dommages légers aux constructions conçues pour les zones sismiques, importants chez les bonnes constructions ordinaires avec des effondrements possibles, catastrophiques chez les mauvaises constructions.		
IX	Dommages considérables aux constructions conçues pour les zones sismiques. Edifices déplacés sur leurs fondations. Fissuration du sol. Bris des canalisations souterraines.		
X	Quelques bonnes constructions en bois et la plupart des constructions en maçonnerie sont détruites. Sol fortement fissuré. Plusieurs glissements de terrain se produisent.		
XI	Très peu de constructions en maçonnerie restent debout; rails tordus; ponts détruits. Large fissures dans le sol.		
XII	Destruction quasi totale. Ondulations visibles à la surface du sol. Objets projetés dans les airs.		

1.7 Les effets directs et induits d'un séisme :

Il existe deux types d'effets liés aux séismes :

- les effets directs, dus aux mouvements vibratoires du sol qui peuvent être modifiés localement par des effets de site ;
- les effets induits, liés à des ruptures permanentes du sol. Dans le cas de certains séismes de magnitude élevée, la faille peut se prolonger jusqu'à la surface et engendrer des décalages de la surface du sol de part et d'autre de la faille.

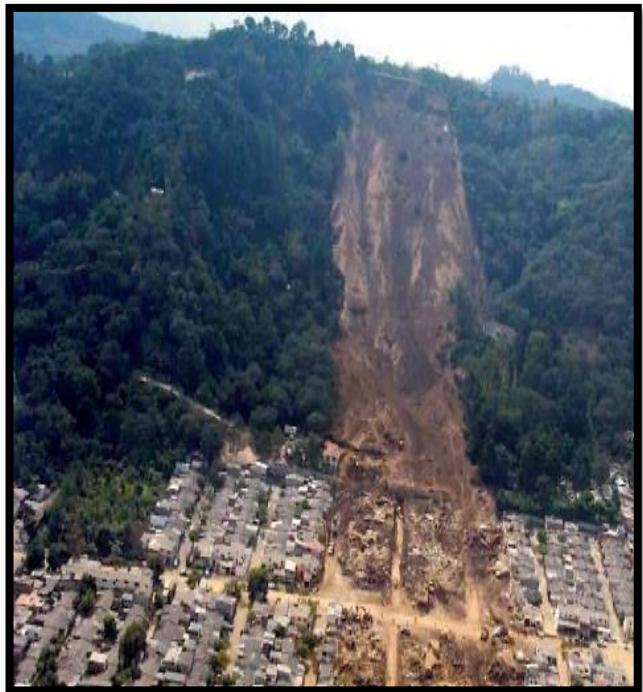
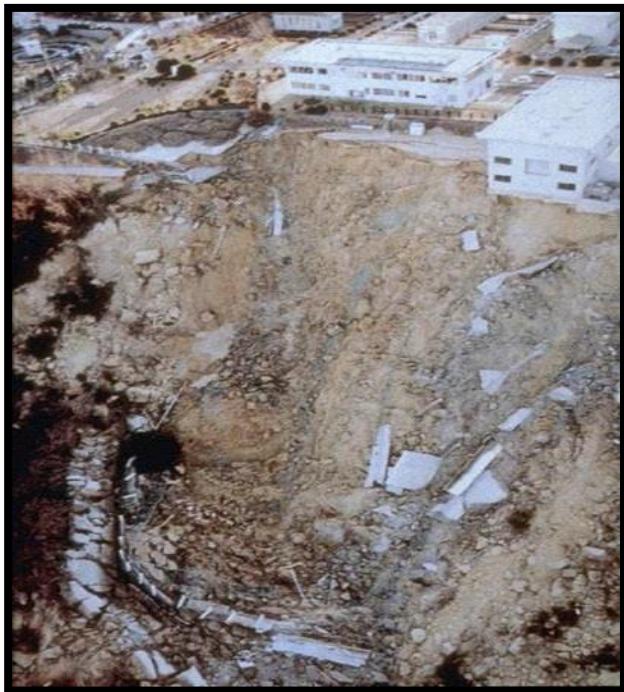


Les effets de site modulent l'ampleur du mouvement sismique. Les mouvements du sol peuvent varier en fonction de la topographie du sol et de la nature du sous-sol. Pour un séisme donné, l'amplitude du mouvement du sol est généralement maximale à l'aplomb de la faille et décroît avec la distance. Mais le mouvement du sol peut varier localement (augmenter ou diminuer) en fonction de deux facteurs : la topographie et la nature du sous-sol.

Plusieurs types de phénomènes naturels peuvent être déclenchés par un séisme :

1.7.1 Les glissements de terrain :

Les séismes peuvent provoquer des glissements de terrain, chutes de blocs, affaissements, effondrements de cavités, par modification des conditions de l'équilibre géotechnique. Ainsi, un versant stable en situation statique peut se trouver en déséquilibre sous la sollicitation dynamique du séisme.



1.7.2 La liquéfaction des sols

Dans certaines conditions de sollicitations dynamiques, certains sols, notamment des sables fins gorgés d'eau, peuvent perdre toute portance (principe des sables mouvants). Les bâtiments fondés sur ces sols peuvent alors subir des tassements importants et des basculements.



1.7.3 Les tsunamis

Les séismes sous-marins peuvent, dans certaines conditions (liées à la magnitude, à la profondeur du foyer, au rejet de la faille), être à l'origine de tsunamis. La plus importante caractéristique d'un tsunami est sa capacité à se propager à travers un océan entier. Des côtes situées à des milliers de kilomètres de l'épicentre peuvent être frappées, de manière très meurtrière et dévastatrice. Par exemple, le tsunami déclenché en 2004 par un puissant séisme (magnitude 9.1) au large des côtes de Sumatra (plus de 250 000 victimes).

