

Chapitre 1. Eléments de sismologie

1) Définition et objectif de génie parasismique :

Les règles de génie parasismique visent à assurer une protection **acceptable** des vies humaines et des constructions vis à vis des effets des actions sismiques par une conception et un dimensionnement appropriés

Le problème est de savoir comment un bâtiment peut répondre aux sollicitations définies, de façon à (au choix) :

- ✓ éviter l'effondrement total ;
- ✓ limiter l'endommagement ;
- ✓ limiter les déformations pour assurer la continuité d'un service.

Le règlement parasismique utilisé en Algérie est le RPA99 version 2003.

2) Causes des tremblements de terre

Les séismes majeurs sont liés à l'existence de mouvements tectoniques globaux continuellement en action qui soulèvent des chaînes de montagnes et creusent des tranchées océaniques à la surface de la terre. Ces mouvements affectent une quinzaine de "plaques" sphéroïdales et engendrent des contraintes sur les lignes de contact des plaques. Lorsque ces contraintes deviennent trop élevées et supérieures à la «résistance au frottement », une rupture brutale se produit: c'est un tremblement de terre, à la suite duquel un nouvel état provisoire de stabilité est réalisé.

Il résulte de cette description qu'il existe des régions du monde à plus ou moins haut risque sismique, suivant qu'elles sont plus ou moins proches des zones de jonctions des "plaques".

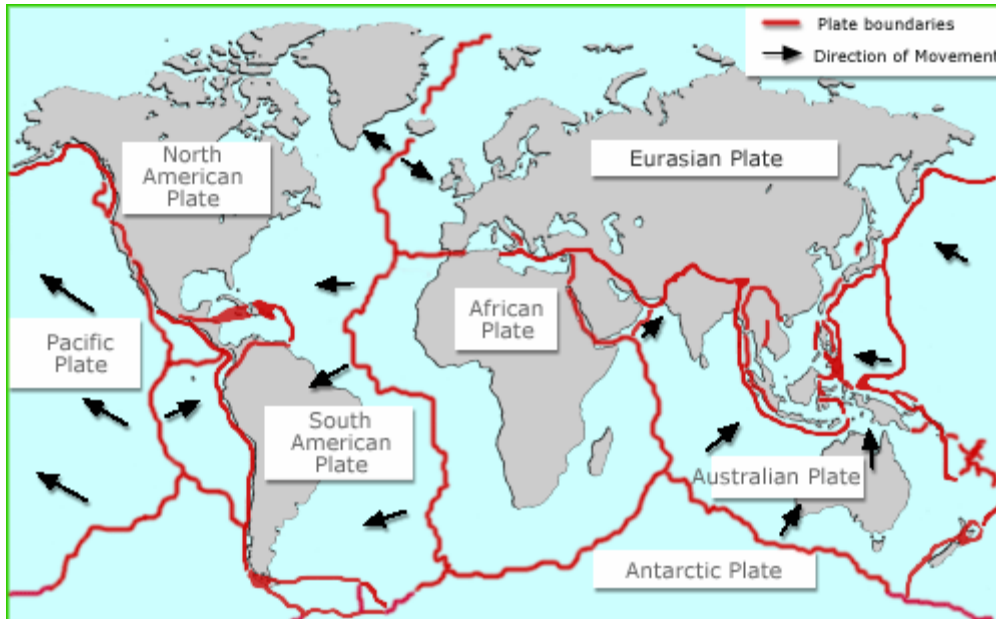
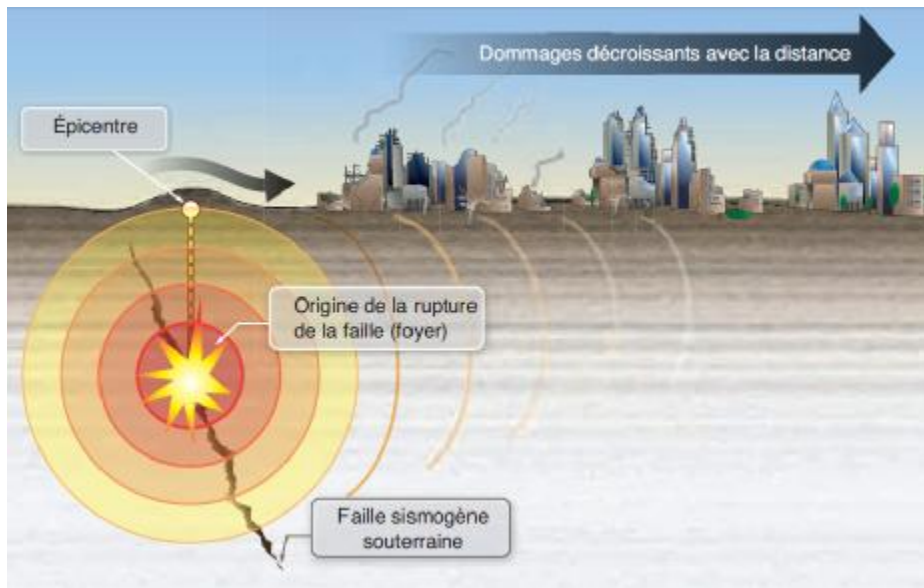


Figure 1.1.a. Carte du monde montrant les principales plaques tectonique.

Pour les séismes importants, le mouvement relatif des bords de la faille peut être apparent en surface. Il existe différents type de mouvement relatif: coulissage horizontal, coulissage vertical. Ces déplacements relatifs permanents du sol s'observent près de l'épicentre du séisme, mais le choc du tremblement de terre entraîne aussi la création et la propagation d'ondes de compression et de cisaillement dans le sol à des distances très grandes; en fait ces ondes font le tour de la terre en s'atténuant progressivement. A la surface du globe, l'effet de ces ondes est un mouvement de déplacement vertical et horizontal du sol. Le déplacement horizontal différentiel entraîne des rotations.

L'importance relative des composantes du mouvement du sol en un point dépend de la position du point considéré par rapport au foyer (ou «hypocentre») du séisme. A l'aplomb de celui-ci («épicentre»), la composante verticale est du même ordre que la composante horizontale. A plus grande distance, l'importance relative de la composante verticale diminue et vaut 50 à 70% de l'horizontale. Les composantes de rotation ont généralement des effets négligeables.

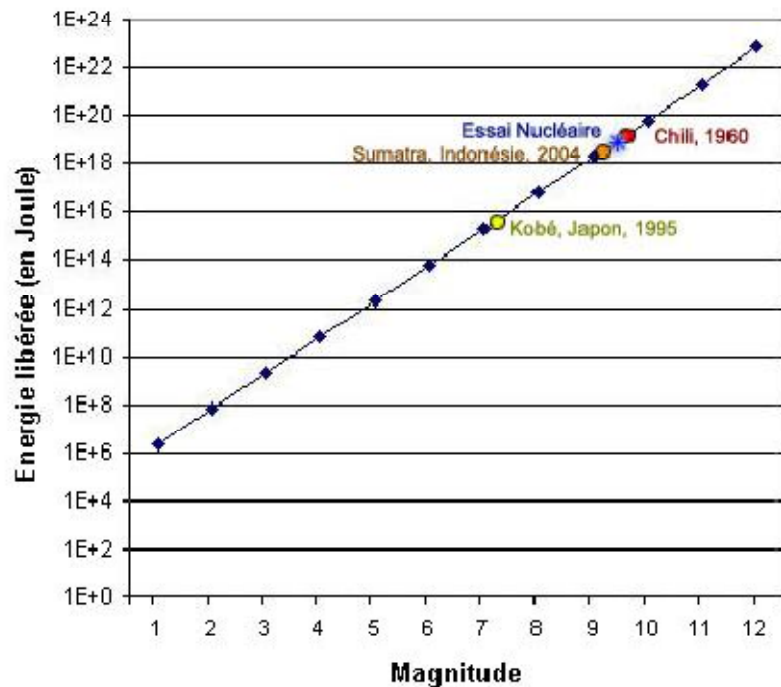


Le mouvement vertical est souvent perçu comme moins dommageable que l'horizontal, partiellement en raison de l'importance généralement moindre de cette composante, mais surtout en raison du fait que les constructions sont naturellement conçues pour reprendre l'action (verticale) de la pesanteur avec une sécurité convenable alors qu'elles ne présentent pas les mêmes ressources pour une action horizontale.

3) Systèmes de mesures des séismes

La **magnitude M** (échelle de RICHTER) est une évaluation de l'énergie libérée au foyer du tremblement de terre, c'est une grandeur « logarithmique » de la quantité d'énergie rayonnée par la source sous forme d'ondes élastiques. Comme telle, cette quantité n'est pas utilisable par l'ingénieur des constructions qui s'intéresse à un mouvement en surface et dans une zone géographique donnée. Le foyer peut se trouver à plusieurs kilomètres sous la surface et à plusieurs centaines de kilomètres de la zone donnée.

Energie libérée en fonction de la Magnitude



Description	Magnitude	Effets	Fréquence (sur la Terre)
Micro	<1,9	Micro tremblement de terre, non ressenti.	8 000 par jour
Très mineur	2,0 à 2,9	Généralement non ressenti mais détecté/enregistré.	1 000 par jour
Mineur	3,0 à 3,9	Souvent ressenti mais causant rarement des dommages.	49 000 par an
Léger	4,0 à 4,9	Secousses notables d'objets à l'intérieur des maisons, bruits d'entrechoquement. Dommages importants peu communs.	6 200 par an
Modéré	5,0 à 5,9	Peut causer des dommages majeurs à des édifices mal conçus dans des zones restreintes. Cause de légers dommages aux édifices bien construits.	800 par an
Fort	6,0 à 6,9	Peut être destructeur dans des zones allant jusqu'à 180 kilomètres à la ronde si elles sont peuplées.	120 par an
Majeur	7,0 à 7,9	Peut provoquer des dommages modérés à sévères dans des zones plus vastes.	18 par an
Important	8,0 à 8,9	Peut causer des dommages sérieux dans des zones à des centaines de kilomètres à la ronde.	1 par an
Dévastateur	9,0 et plus	Dévaste des zones de plusieurs milliers de kilomètres à la ronde.	1 tous les 6 ans environ

L'intensité (échelle de MERCALLI) est une caractérisation de l'importance des effets matériels observés en surface et de la perception par la population. Cette description vaut pour une zone géographique donnée, mais est assez qualitative. L'intensité en un point dépend non seulement de la taille du séisme (magnitude) mais

aussi de la distance au foyer, de la géologie locale et de la topographie.

Degré	Étendue des dégâts observés
I	Aucun mouvement n'est perçu. Le séisme n'est détecté que par des instruments sensibles et quelques personnes dans des conditions particulières.
II	Quelques personnes peuvent sentir un mouvement si elles sont au repos et/ou dans les étages élevés de grands immeubles.
III	À l'intérieur de bâtisses, beaucoup de gens sentent un léger mouvement. Les objets suspendus bougent. En revanche, à l'extérieur, rien n'est ressenti.
IV	À l'intérieur, la plupart des gens ressentent un mouvement. Les objets suspendus bougent, mais aussi les fenêtres, plats, assiettes, loquets de porte.
V	La plupart des gens ressentent le mouvement. Les personnes sommeillant sont réveillées. Les portes claquent, la vaisselle se casse, les tableaux bougent, les petits objets se déplacent, les arbres oscillent, les liquides peuvent déborder de récipients ouverts.
VI	Tout le monde sent le tremblement de terre. Les gens ont la marche troublée, les objets et tableaux tombent, le plâtre des murs peut se fendre, les arbres et les buissons sont secoués. Des dommages légers peuvent se produire dans des bâtiments mal construits, mais aucun dommage structural.
VII	Les gens ont du mal à tenir debout. Les conducteurs sentent leur voiture secouée. Quelques meubles peuvent se briser. Des briques peuvent tomber des immeubles. Les dommages sont modérés dans les bâtiments bien construits, mais peuvent être considérables dans les autres.
VIII	Les chauffeurs ont du mal à conduire. Les maisons avec de faibles fondations bougent. De grandes structures telles que des cheminées ou des immeubles, peuvent se tordre et se briser. Les bâtiments bien construits subissent de légers dommages, contrairement aux autres qui en subissent de sévères. Les branches des arbres se cassent. Les collines peuvent se fissurer si la terre est humide. Le niveau de l'eau dans les puits peut changer.
IX	Tous les immeubles subissent de gros dommages. Les maisons sans fondations se déplacent. Quelques conduits souterrains se brisent. La terre se fissure.
X	La plupart des bâtiments et leurs fondations sont détruits. Il en est de même pour quelques ponts. Des barrages sont sérieusement endommagés. Des éboulements se produisent. L'eau est détournée de son lit. De larges fissures apparaissent sur le sol. Les rails de chemin de fer se courbent.
XI	La plupart des constructions s'effondrent. Des ponts sont détruits. Les conduits souterrains sont détruits.

Échelle de Mercalli (1902)

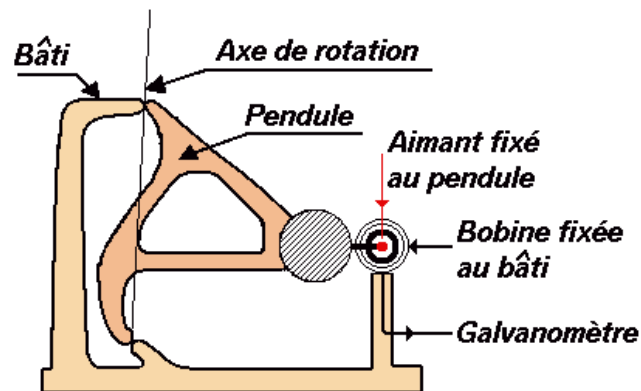
Un paramètre important pour l'évaluation des effets des séismes à un endroit donné est l'**accélération maximale** a_g du sol ou accélération de pointe, PGA (Peak Ground Acceleration) en anglais. Son ordre de grandeur est de 0,4 g à 0,6g en zone très sismique (Japon, Turquie) et de 0 à 0,1 g en zone faiblement sismique (Belgique). L'amplitude de l'accélération maximale du sol permet de se faire une idée de la résultante de force F appliquée à la construction de masse m : $F = m a_g$ si la construction est indéformable et bouge comme le sol (en général $F > m a_g$). C'est en terme de d'accélération maximale a_g au niveau du bedrock qu'on exprime les cartes de zonation ou zonage sismique quantifiant le niveau sismique à prendre en compte pour l'application des règles de constructions parasismiques.

Un autre paramètre utile pour l'évaluation des effets des séismes à un endroit

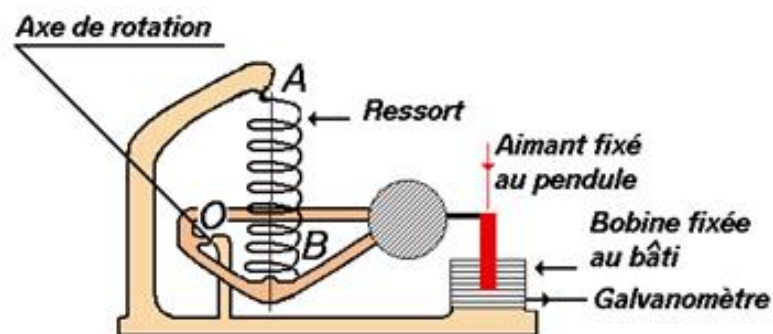
donné est le **déplacement maximal** d_g du sol, qui donne une idée de l'ordre de grandeur du déplacement relatif du centre de gravité de la structure par rapport à la base de la structure: quelques *cm* en zone faiblement sismique, jusqu'à un mètre en zone très sismique.

La **durée** du tremblement de terre est un paramètre significatif dans les processus de fissurations et dégradations progressives des éléments d'une construction. Elle est liée à la magnitude du séisme. Cette durée est au maximum de l'ordre de 60 s en zone très sismique, mais n'est que de quelques secondes en zone peu sismique.

La caractérisation la plus explicite d'un tremblement de terre est évidemment constituée d'**accélérogrammes** enregistrés dans la zone géographique considérée, qui contiennent à la fois les aspects accélérations, durée et contenu fréquentiel. Les sismomètres enregistrent les accélérations imprimés au sol sous la forme d'accélérogrammes. Les accélérogrammes constituent une donnée d'action directement utilisable par la dynamique des structures.



SISMOMETRE HORIZONTAL



SISMOMETRE VERTICAL

Enfin, les **spectres de réponse** constituent la caractérisation des tremblements de terre la plus couramment utilisée par l'ingénieur des constructions. Ils sont des sous-produits des accélérogrammes et permettent un calcul simple des efforts internes dans

une structure soumise au séisme.

4) Ondes sismiques

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

Les ondes élastiques libérées par la rupture de la faille se propagent dans toutes les directions. Plusieurs types d'ondes aux effets différents sur les sols et les structures sont générés par le séisme.

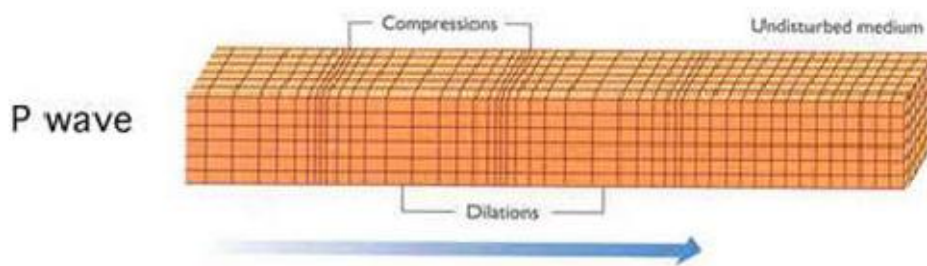
La connaissance des caractéristiques des différents types d'ondes et de leur mode de propagation permet de comprendre leur action sur une structure donnée en fonction du site géologique et de sa distance au foyer.

On peut distinguer les deux types d'ondes suivants.

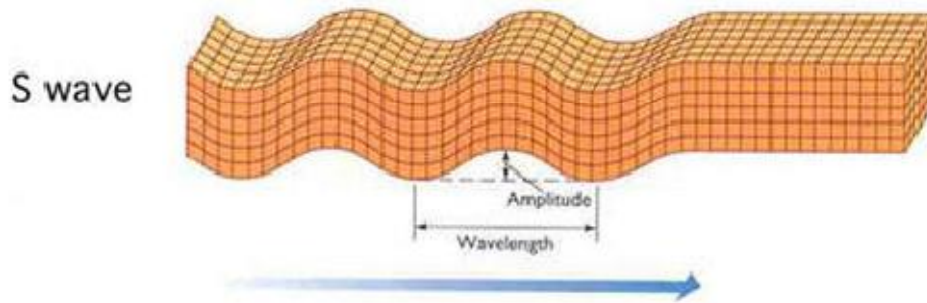
A) Ondes de volumes :

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

-Ondes P (ondes de Pression) ou ondes longitudinale : Ces ondes se propagent avec une vitesse de 7 à 8km/s et s'accompagnent d'un changement de volume (compression et dilatation alternées).



-Ondes S (ou ondes secondaires) ou ondes transversale : Ces ondes se déplacent avec une vitesse de 4 à 5km/s et s'accompagnent d'une distorsion dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation, provoquant un cisaillement sans changement de volume.

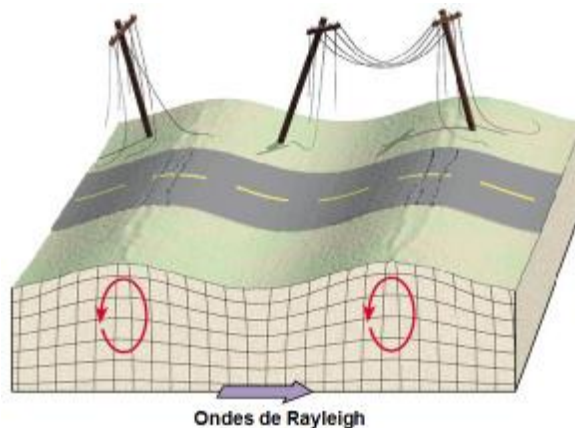


B) Ondes de surface :

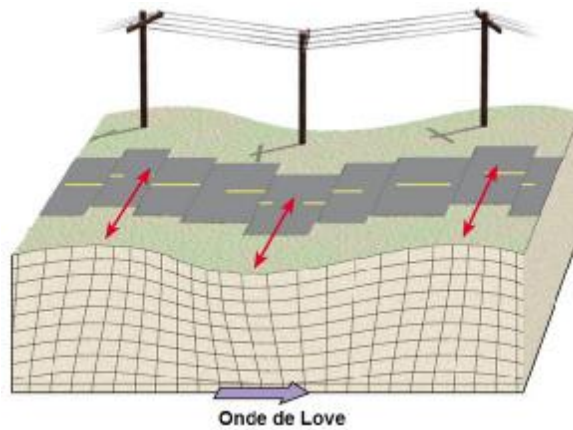
Les ondes de volume qui arrivent à la surface de la terre produisent des ondes de surface n'intéressant le sol que sur une profondeur extrêmement faible.

On distingue principalement :

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



-**Les ondes Q ou ondes Love:** des ondes de cisaillement dans le plan horizontal du sol. 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.



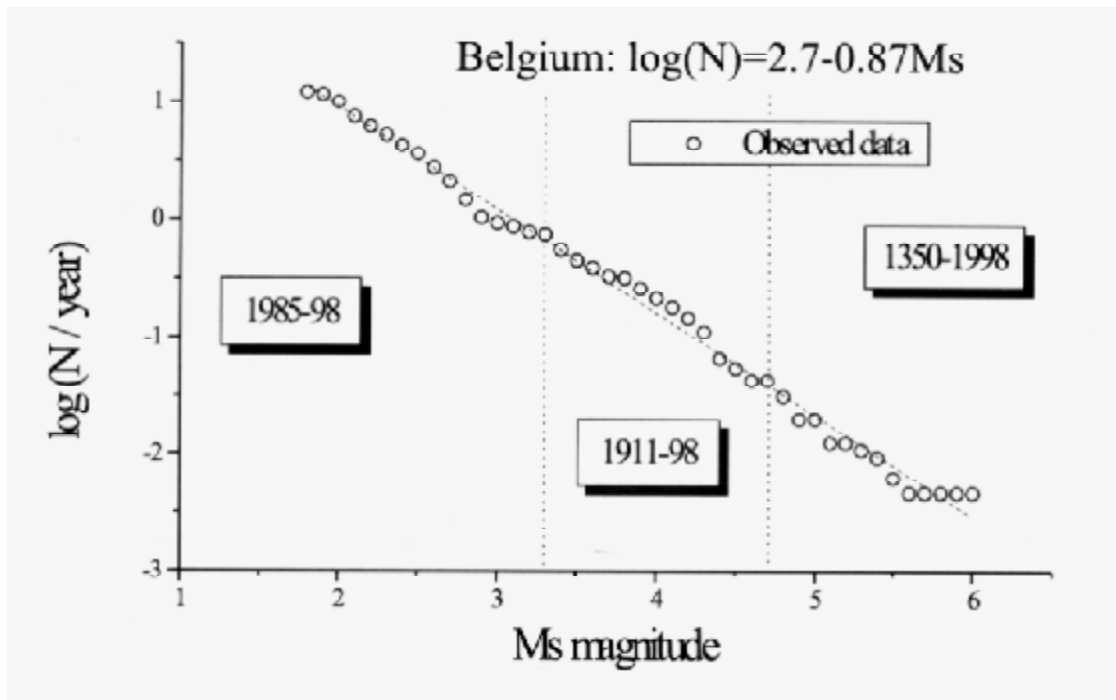
Les ondes de surface ont une vitesse de propagation de 1,5 à 5 km/s dans les terrains compacts ou rocheux et de 0,5 à 1,5 km/s dans les terrains meubles.

La différence des temps d'arrivée des ondes P et S suffit, connaissant leur vitesse, à donner une indication sur l'éloignement du séisme. On peut ainsi localiser son épipcentre à l'aide de trois sismogrammes.

5) Aléas sismiques, Etude d'un cas pratique

L'aléa sismique représente la probabilité - pour un lieu géographique donné - d'occurrence d'un événement sismique d'une intensité donnée, généralement caractérisé par la valeur de l'accélération de pointe a_{gR} ou PGA et reportée sur les cartes de zonation de l'aléa sismique.

Cette définition pose le problème de l'établissement de la valeur de calcul de a_{gR} . Dans une région sismique donnée, il se produit de nombreux tremblements de terre au fil du temps et on observe qu'il existe une relation entre la magnitude de ces séismes et leur fréquence d'apparition : les petits séismes sont nombreux, les gros sont rares. Des lois statistiques ont été établies par différents chercheurs : Gutenberg-Richter, Ambraseys.



Une fois connue la loi (magnitude - fréquence d'apparition) pour une région donnée, il est possible de définir l'alea sismique à utiliser dans les projets de construction, à condition de définir la probabilité d'arrivée du séisme contre lequel on décide de se prémunir. Ce choix doit résulter d'une balance entre sécurité et coût, car plus la probabilité d'arrivée du séisme choisie est faible, plus le niveau d'action a_g et le coût de l'aspect antisismique de la construction sont élevés.