

Chapitre I : Eléments de sismologie

1. Introduction :

La sismologie ou séismologie, est une discipline scientifique qui étudie les séismes. Elle permet d'associer à chaque site un outil de travail appelées « spectre de réponse ».

1.1. Construction parasismique :

On appelle « **construction parasismique** » ou antisismique un ouvrage conçu et réalisé conformément aux **règles parasismiques** en vigueur.

1.2. Objectifs du Génie Parasismique :

Le génie parasismique concerne l'étude du comportement des structures soumises à un chargement dynamique du type sismique. Les objectifs du génie parasismique sont de :

- Prévoir les conséquences éventuelles des séismes.
- Comprendre l'interaction entre les structures-structures, les structures-sols.
- Concevoir des structures résistantes aux séismes, conformément aux normes de construction locales.

2. Séisme :

Le séisme correspond à une vibration du sol provoquée par une libération brusque de l'énergie de déformation accumulée dans la croûte terrestre ou dans la couche sous-jacente.

2.1. Origines des séismes :

Un séisme est une secousse ou une série de secousses plus ou moins violentes du sol qui peut avoir trois origines :

- **Rupture d'une faille** ou d'un segment de faille due aux **mouvements des plaques tectoniques**),
- Explosion due à l'intrusion et dégazage d'un magma (**séismes volcaniques**),
- Implosion due à l'effondrement d'une cavité (**séisme d'origine naturelle** ou à l'**activité humaine**).

3. Terminologie :

3.1. Hypocentre et épïcentre :

L'endroit où se produit le séisme est appelé **foyer** ou **hypocentre**, et le point de la surface du sol directement au-dessus est appelé **épïcentre**.

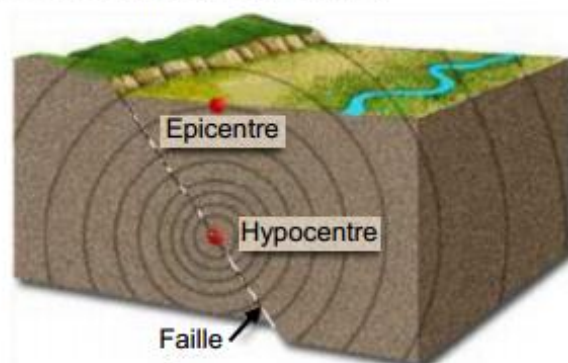


Figure I.1. Épïcentre, hypocentre et faille.

3.2. La faille :

La faille est le résultat de la rupture d'un ensemble rocheux sous l'effet des contraintes auxquelles il est soumis.

On appelle mécanisme au foyer, le mécanisme permettant de définir quel type de faille intervient dans le tremblement de terre, ainsi que l'orientation de la faille et la direction de glissement des blocs sur cette faille. On peut ainsi définir la nature convergente ou divergente des mouvements à l'origine des séismes. Il existe trois sortes de failles :

- **Les failles normales** : La déformation entraîne un étirement des roches initiales. Elles résultent de mouvements d'écartement (divergence).

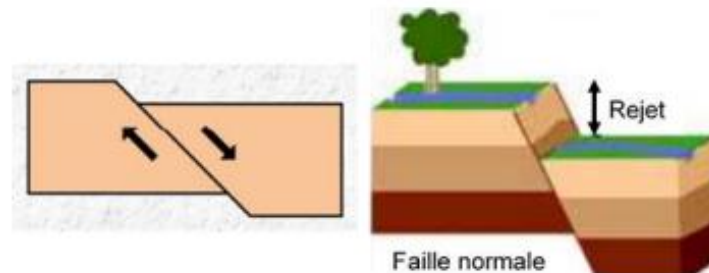


Figure I.2. Faille normale.

- **Les failles inverses** : La déformation entraîne un raccourcissement des terrains initiaux. Elles résultent de mouvements de rapprochement (convergence).

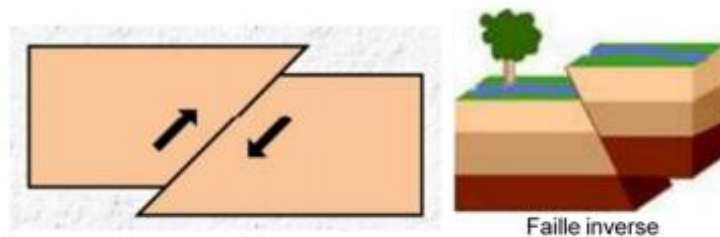


Figure I.3. Faille inverse.

- **Les failles en décrochement** : Elles provoquent un déplacement des blocs uniquement dans le sens horizontal.

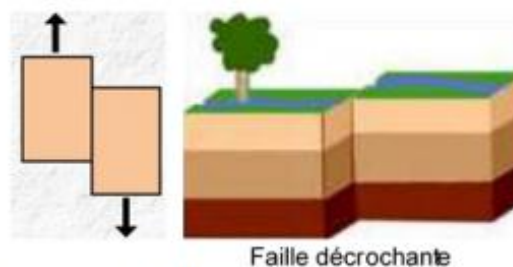


Figure I.4. Faille en décrochement.

4. Ondes sismiques :

Les ondes sismiques sont des mouvements vibratoires de type élastique, qui peuvent être réparties en deux grandes familles : les **ondes P**, ou primaires, et les **ondes S**, ou secondaires. On les appelle **ondes de volume**, car elles se propagent dans tout le volume de la Terre.

Il existe également des **ondes dites de surface**, ainsi nommées car leur trajet se déroule uniquement dans les couches superficielles de la Terre.

4.1. Ondes de vibration de volume :

Les ondes de volume se propagent à l'intérieur du globe. Leur vitesse de propagation dépend du matériau traversé et, d'une manière générale, elle augmente avec la profondeur car le matériau traversé devient plus rigide.

On distingue :

Les ondes P : ou ondes primaires appelées aussi ondes de pression, qui se propagent à une vitesse de l'ordre de 7 à 8 km/s, arrivent la première. Elles sont les premières observées sur un enregistrement, ou ressenties à proximité d'un séisme. Elle occasionne un mouvement vertical du sol.

Sur le passage des ondes P, les roches sont alternativement comprimées et détendues comme un ressort. Ces ondes se propagent à travers tous les types de milieux, y compris les liquides et les gaz.

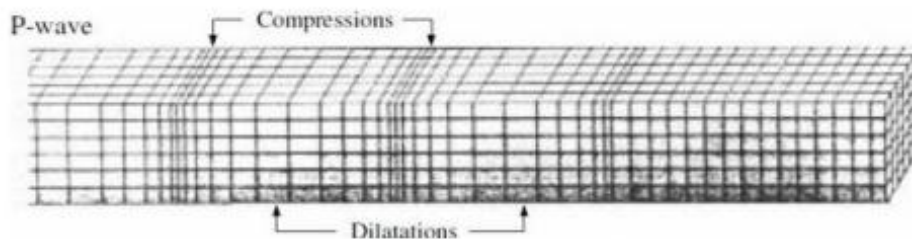


Figure I.5. Ondes de pression P "longitudinales".

Les ondes S : ou ondes secondaires appelées aussi ondes de cisaillement. Ils arrivent après les ondes P, car sa vitesse de propagation est plus faible, de l'ordre de 4 à 5 km/s. Elles s'accompagnent d'un mouvement horizontal de cisaillement du sol, fortement ressenti.

Les matériaux traversés par les ondes S se distordent puis retrouvent leur forme initiale. Ces ondes ne peuvent donc se propager que dans les milieux qui offrent une résistance à la distorsion, c'est-à-dire les solides.

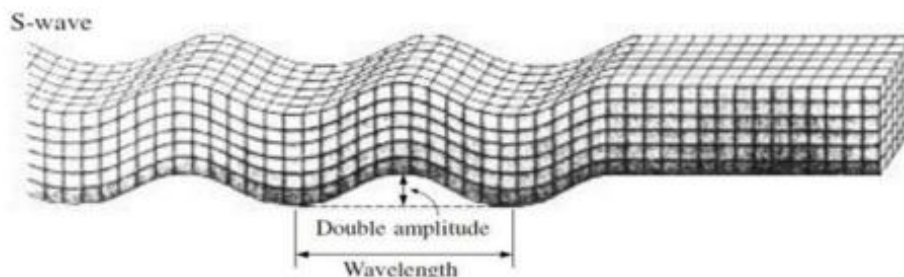


Figure I.6. Ondes de cisaillement S "transversales".

5.1.1 Vitesse d'ondes de vibration de volume :

La vitesse sismique d'un milieu est fonction de son élasticité et peut être exprimée en termes de ses constantes élastiques.

Dans les matériaux solides isotropes et homogènes, l'onde P se propage en ligne droite longitudinale ; Ainsi, les particules du solide vibrent le long de l'axe de propagation (direction du mouvement) de l'énergie des ondes. La vitesse des ondes sismiques P V_p dans un tel milieu est obtenue par :

$$V_p = \sqrt{\frac{k + (4/3)G}{\rho}} = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}} = \sqrt{\frac{M}{\rho}}$$

Avec : $\lambda = \frac{\nu E}{(1-2\nu)(1+\nu)}$ et $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$

Où :

k : le module d'élasticité isostatique (incompressibilité du milieu),

G : le module de cisaillement,

ρ : la densité du milieu,

λ : le premier coefficient de Lamé,

M : le module d'onde P,

ν : le coefficient de Poisson,

E : le module de Young.

Les ondes S sont des combinaisons linéaires d'ondes planes sinusoïdales de différentes longueurs d'onde et directions de propagation, mais toutes avec la même vitesse :

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Ce qui amène à :

ν	0	0.15	0.25
$\frac{V_p}{V_s}$	1.41	1.56	1.71

5.2. Ondes de vibration de surface :

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 de surface ont une vitesse de propagation de 1,5 à 5km/s dans les sols compacts (roche) et de 0,5 à 1,5 km/s dans les sols meubles.

5.2.1. 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.

Les ondes de Rayleigh provoquent des déplacements à la fois horizontal et vertical.

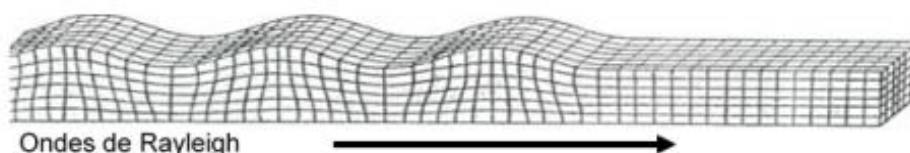


Figure I.7. Ondes de Rayleigh.

5.2.2. Les ondes Q ou les ondes Love :

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 Love provoquent un ébranlement horizontal qui est la cause de nombreux dégâts aux fondations des édifices.

Les ondes de Love se propagent à environ 4 km/s, elles sont plus rapides que les ondes de Rayleigh.

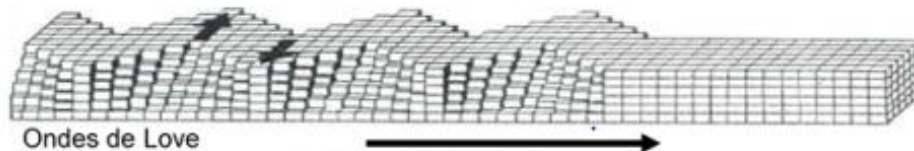


Figure I.8. Ondes de Love.

6. Systèmes de mesures des séismes :

Les scientifiques peuvent évaluer l'importance des tremblements de terre à l'aide de deux principaux instruments : l'échelle de RICHTER, qui permet de quantifier la magnitude d'un séisme, et l'échelle de MERCALLI, qui mesure les dégâts.

6.1. Echelle de RICHTER :

L'échelle de Richter mesure la quantité d'énergie libérée au foyer d'une secousse, c'est-à-dire la magnitude d'un séisme.

La magnitude est obtenue par :

$$M = \log \frac{A_{\mu m}}{T} + F(\Delta)$$

Où :

M : la magnitude des ondes de volume,

$A_{\mu m}$: l'amplitude maximale en micro d'un sismographe étalon placé à 100 km de l'épicentre,

T : la période en secondes,

$F(\Delta)$: le terme empirique due à l'amortissement du signal sismique en fonction de la distance Δ et de la profondeur.

Tableau I.1. Echelle de Richter.

Magnitude	Niveau	Fréquence	Effets
< 2.0	Micro	8 000 par jour	Micro tremblement de terre, non ressenti.
2.0 à 2.9	Très mineur	1 000 par jour	Généralement non ressenti mais détecté/enregistré.
3.0 à 3.9	Mineur	49 000 par an	Souvent ressenti mais causant rarement des dommages.
4.0 à 4.9	Léger	6 200 par an	Secousses notables d'objets à l'intérieur des maisons, bruits d'entrechoquement. Dommages importants peu communs.

5.0 à 5.9	Modéré	800 par an	Peut causer des dommages majeurs à des édifices mal conçus dans des zones restreintes. Cause de légers dommages aux édifices bien construits
6.0 à 6.9	Fort	120 par an	Peut-être destructeur dans des zones allant jusqu'à 180 kilomètres à la ronde si elles sont peuplées.
7.0 à 7.9	Majeur	18 par an	Peut provoquer des secousses faibles dans des zones plus vastes.
8.0 à 8.9	Important	1 par an	Peut causer des dommages sérieux dans des zones à des centaines de kilomètres à la ronde.
≥ 9.0	Dévastateur (Exceptionnel)	1 tous les 6 ans	Dévaste des zones de plusieurs milliers de kilomètres à la ronde

6.1. Echelle de MERCALLI :

L'échelle MERCALLI mesure l'intensité d'un séisme en un lieu donnée, autrement dit les dégâts et les destructions qu'il produit sur l'environnement, les constructions et les sens de l'homme. Elle est graduée en chiffres romains de I à XII.

Le tableau 2 résume l'échelle MERCALLI à l'aide d'une description abrégée des différents degrés (intensité).

Tableau I.2. Brève description des 12 degrés de l'échelle MERCALLI.

Intensité	Description des effets typiques observés
I	Secousses imperceptibles par l'homme
II	Secousses ressenties par un faible nombre d'observateurs (personnes).
III	Secousses ressentis par bon nombre d'habitants.
IV	Secousses observées par beaucoup personnes.
V	Secousses ressentis par la plupart des gens.
VI	Tout le monde sent le tremblement de terre.
VII	Les gens ont du mal à tenir debout. Les dommages sont modérés dans les bâtiments bien construits, mais peuvent être considérables dans les autres.
VIII	Dommages graves dans les bâtiments mal construits.
IX	Tous les immeubles subissent de gros dommages.
X	Destruction de la majorité des bâtiments avec leurs fondations, légère courbure des voies ferrées, dommages aux ponts.
XI	La plupart des constructions s'effondrent. Des ponts sont détruits.
XII	Presque tout est détruit. Changements de topographie.

6.4. Moyens de mesure des séismes :

L'instrument d'enregistrement et de mesure des séismes s'appelle le **sismographe**. L'enregistrement visuel produit par les sismographes s'appelle un sismogramme.

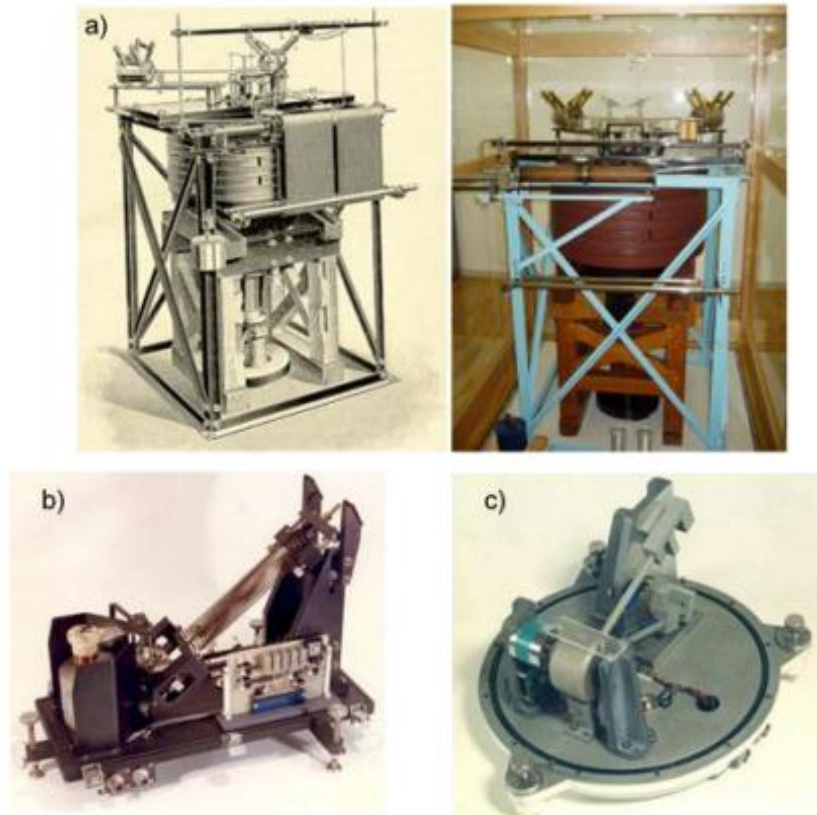


Figure I.9. Sismographe : a) sismographe Wiechert, b) sismographe vertical, c) sismographe horizontal.

7. Aléas sismiques :

L'aléa sismique peut se définir comme la possibilité qu'un endroit donné, soit soumis à une secousse sismique de caractéristiques données.

Pour déterminer l'aléa sismique, on a besoin de savoir où se sont produits les tremblements de terre passés, quelles ont été leur force et leur fréquence. En effet, l'une des hypothèses de travail suppose que le processus soit stationnaire, et donc que la survenue des séismes dans le futur intervienne avec la même fréquence que dans le passé. Cette hypothèse permet d'utiliser un modèle probabiliste de Poisson.

La méthode probabiliste s'appuie sur :

- La définition des sources sismiques actives pour la région,
- La récurrence des tremblements de terre pour chaque source,
- La variation en chaque lieu des mouvements du sol ou atténuation.

7.1. Zonage réglementaire de l'aléa sismique en Algérie :

Le zonage réglementaire définit quatre zones de sismicité croissante basées sur un découpage par Wilaya et par commune, soit :

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

- Zone II : sismicité moyenne
- Zone III : sismicité élevée

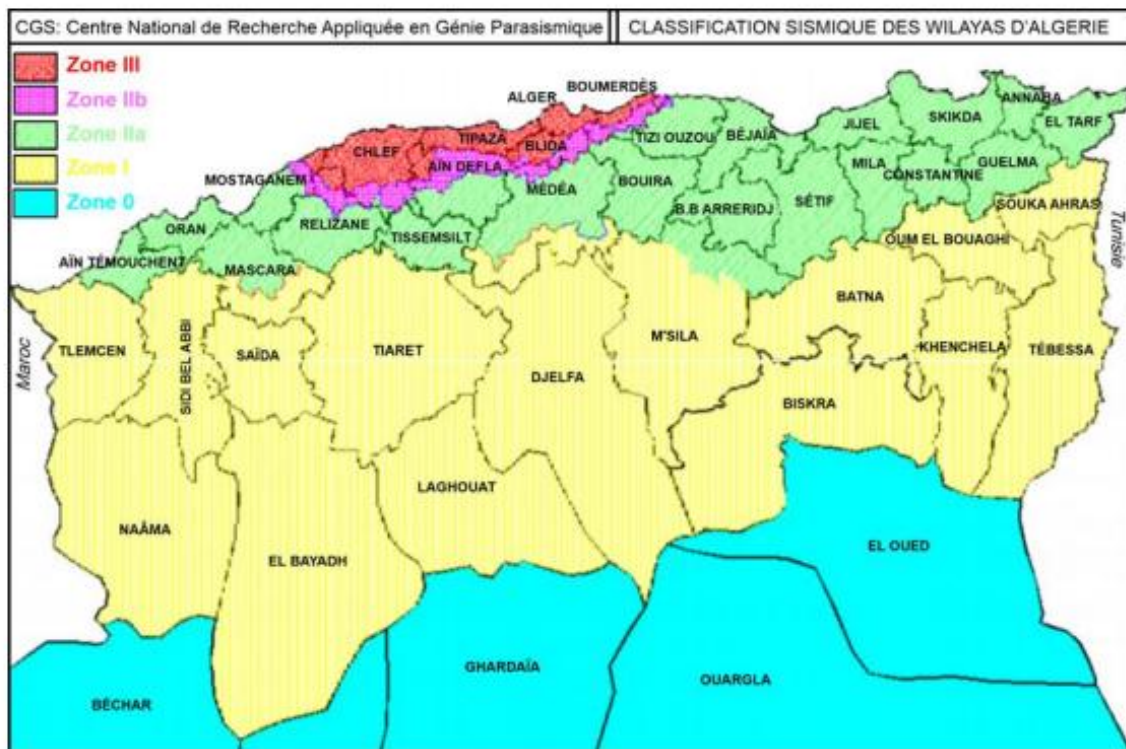


Figure I.10. Carte de zonage sismique de l'Algérie.

7.1.2. Classification des sols :

- Groupe (a) : bonne à très bonne résistance
- Groupe (b) : résistance moyenne
- Groupe (c) : faible résistance
- Groupe (d) : très faible résistance

7.1.3. Catégories et critères de classification des sites :

- Site 1 (S₁) : site rocheux « groupe (a) »
- Site 2 (S₂) : site ferme « groupe (a ou b) »
- Site 3 (S₃) : site meuble « groupe (b ou c) »
- Site 4 (S₄) : site très meuble « groupe (c ou d) »

7.2. Vulnérabilité :

La vulnérabilité est évaluée en tenant compte de la présence sur le site étudié du type de construction de bâtiments et de leur résistance aux séismes. La vulnérabilité est obtenue par :

$$\text{Vulnérabilité (\%)} = \frac{\text{côté des dommages attendus pour un séisme d'une intensité donnée}}{\text{côté de la construction}}$$

7.3. Risque sismique :

Le risque sismique se définit comme le produit de l'aléa sismique par la vulnérabilité :

$$\text{Risque sismique} = \text{Aléa sismique} \times \text{Vulnérabilité}$$

8. Effets des séismes :

Les effets peuvent être classés en 3 catégories :

- **Effets directs** : actions du sol sur les ouvrages, pas seulement la secousse elle-même, mais aussi le jeu de la faille jusqu'en surface
- **Effets de sites** : modification sensible du signal sismique amplifier les accélérations du sol pour certaines fréquences.
- **Effets induits** : grands déplacements de sol ou d'eau pouvant agissant sur les ouvrages.

Exemple des effets des Séismes :

- Liquéfaction des sols
- Éboulement rocheux
- Ébranlements
- Glissement de terrain
- Raz-de-marré (Tsunamis)
- Détournement de cours d'eau

Exemple des dégâts sur les constructions :

- Basculement des bâtiments ou des ouvrages
- Entrechoquement entre les bâtiments
- Effondrement total ou partiel des bâtiments
- Fragilisation rupture des liaisons poteaux poutres
- Dommages des éléments de façade
- Éclatement des murs de maçonnerie