I-1 Introduction

L'existence d'un séisme lié à l'existence de mouvements tectoniques 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 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 **[5].**

Il résulte de cette description qu'il existe des régions du monde à plus ou moins haut risque sismique, suivant leur localisation géographique par rapport à ces zones de jonctions des plaques la **figure I.1** suivante nous montre la répartition de ces différentes plaques constituant la surface du globe.

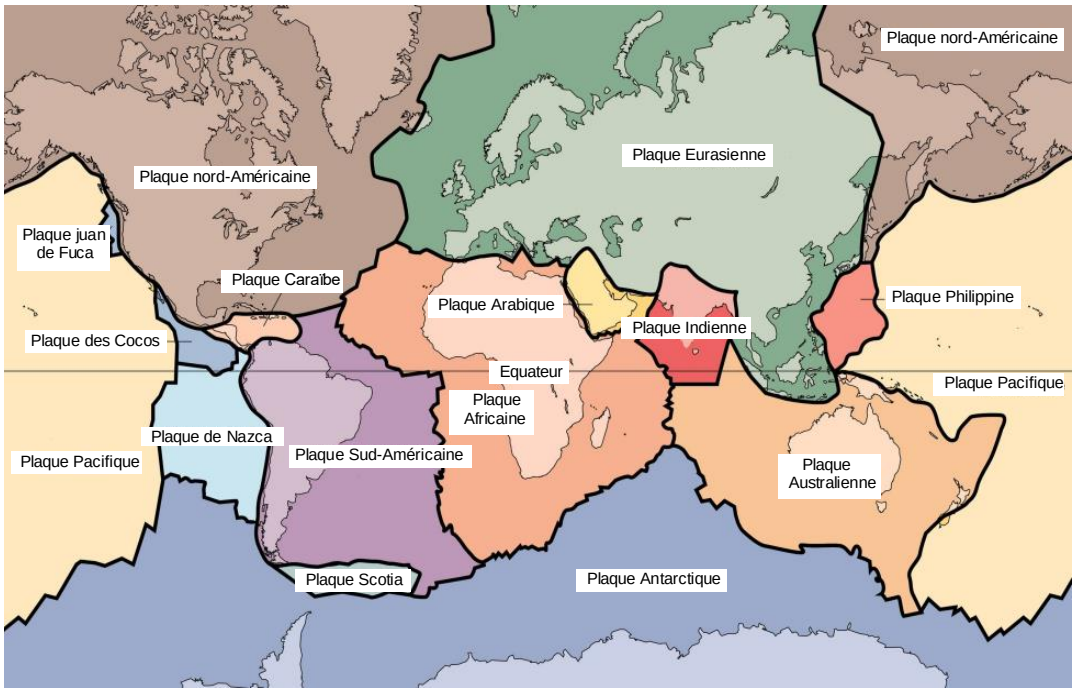

Figure I.1: Carte simplifiée des grandes plaques lithosphériques et de leurs limites

I-2- Définition d'un séisme

Un séisme, terme synonyme de « tremblement de terre », est une secousse plus ou moins violente du sol, est du le plus souvent à la rupture d'une faille, activée par les lents mouvements tectoniques qui animent en permanence la croûte terrestre. Cette rupture émet des ondes qui, en se propageant, engendrent des secousses à composantes horizontale et verticale. L'intensité des secousses verticales est en général plus faible que celle des secousses horizontales, mais ce n'est pas toujours le cas. Les vibrations verticales sont importantes près de l'épicentre du séisme, qui est le point de la surface terrestre à la verticale du « foyer », où la rupture de faille a été déclenchée **[4]**.

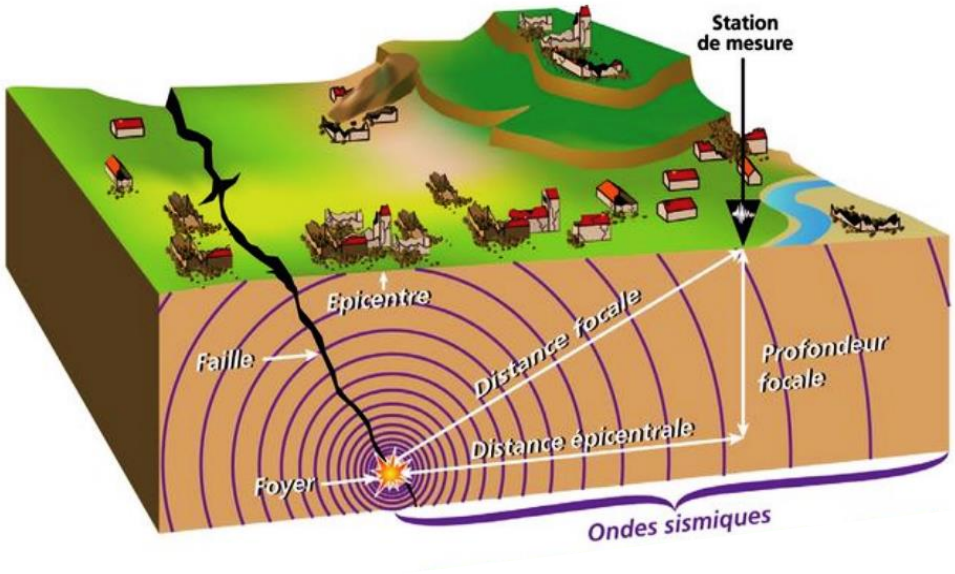

Figure I.2: Épicentre et foyer d'un séisme, l'importance des dommages diminue avec La distance à l'épicentre

Les séismes violents n'ont donc pas une répartition aléatoire à la surface de la planète. Ils sont localisés pour leur immense majorité sur les frontières des plaques, là où les contraintes sont les plus élevées, ce sont les régions sismiques, les mécanismes de ces régions sont étudiés pour évaluer l'aléa sismique **[3].**

La quasi-totalité de l'activité sismique correspond aux séismes tectoniques, cependant il existe d'autres types de séismes, d'origine naturelle ou artificielle.

- **Séismes volcaniques**, associés à la montée du magma ou au dégazage avant et pendant les éruptions. Ces séismes sont généralement faibles et localisés au voisinage des volcans actifs .
- **Séismes artificiels**, résultant des explosions souterraines (tirs de carrières et de mines essais nucléaires) ou de l'exploitation des mines (« coups de toit »).
- **Séismes dits « induits »**, souvent associés à un apport massif d'eau dans les terrains (mise

en eau d'un grand barrage ou injection à grande échelle dans le sol), ces séismes induits dont on connaît quelques exemples, paraissent devoir être attribués à la diminution de résistance à la rupture des roches lors de l'infiltration d'eau dans leur réseau de micro-fractures.

I-3-Les ondes sismiques

Générées par la rupture sur la faille, des vibrations, ou ondes sismiques, se propagent dans toutes les directions, plusieurs types d'ondes, aux effets différents sur les sols et les structures sont produits par les séismes, la connaissance des caractéristiques des différents types d'ondes (et de leurs conditions de propagation) permet de prévoir leur action sur les bâtiments en fonction du site géologique où se situe chaque construction **[3]**.

On distingue deux grands types d'ondes émises par un séisme :

Les ondes de fond, celles qui se propagent à l'intérieur de la terre et qui comprennent les ondes S et les ondes P, et les ondes de surface, celles qui ne se propagent qu'en surface et qui comprennent les ondes de Love et de Rayleigh.

1- Les ondes P (primaires)

Sont des ondes de compression assimilables aux ondes sonores et qui se propagent dans tous les états de la matière, les particules se déplacent selon un mouvement avant-arrière dans la direction de la propagation de l'onde.

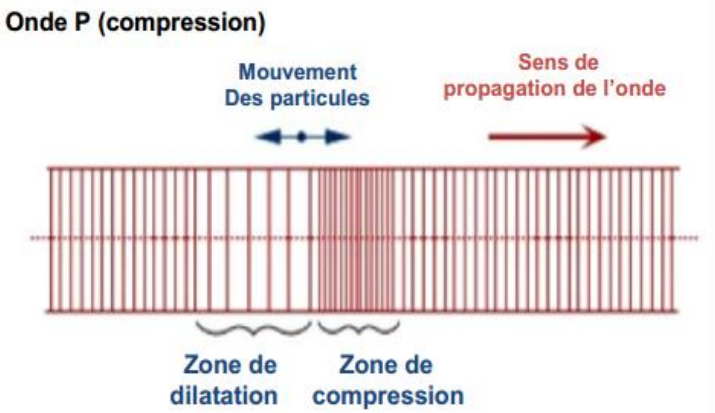

Figure I.3: Représentation schématique des ondes P

2- Les ondes S (secondaires)

Sont des ondes de cisaillement qui ne se propagent que dans les solides, les particules oscillent dans un plan vertical, à angle droit par rapport à la direction de propagation de l'onde.

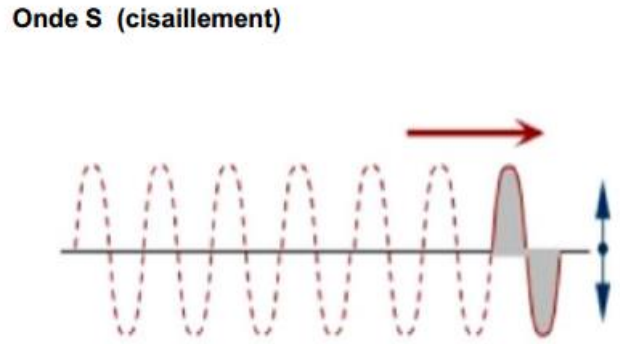

Figure I.4: Représentation schématique des ondes S

3- Les ondes de Love ou ondes L

sont des ondes de cisaillement, comme les ondes S, mais qui oscillent dans un plan horizontal. Elles impriment au sol un mouvement de vibration latéral.

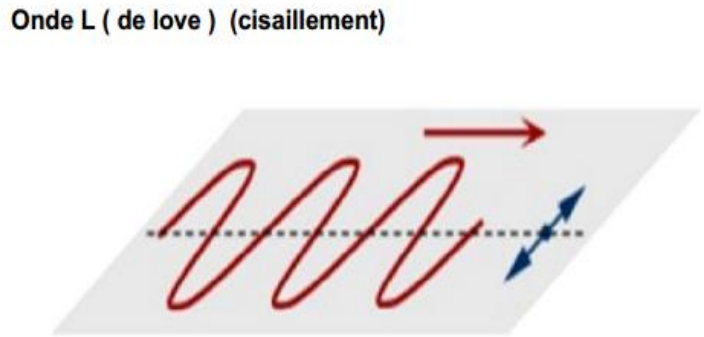

Figure 1.5: Représentation schématique des ondes L

4- Les ondes de Rayleigh ou ondes R

sont assimilables à une vague, les particules du sol se déplacent selon une ellipse, créant une véritable vague qui affecte le sol lors des grands tremblements de terre.

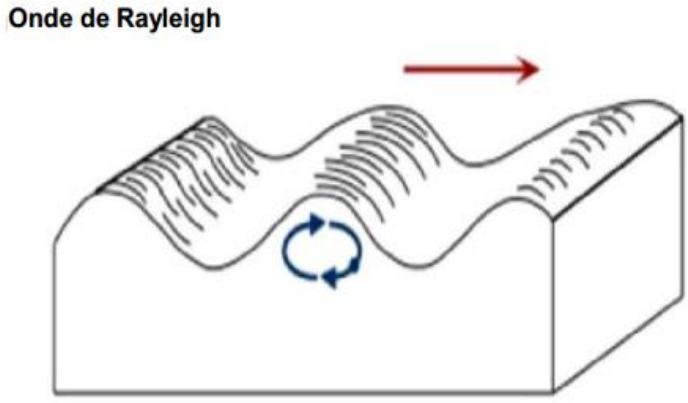

Figure I.6: Représentation schématique des ondes R

I-4- Caractérisation des séismes

On peut caractériser la "taille" du tremblement de terre par différents paramètres.

- **Magnitude M (échelle de RICHTER)**

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

- **Intensité I (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.

- **Durée**

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, elle est au maximum de l'ordre de 60 s en zone très sismique, mais elle 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 accélérogrammes constituent une donnée d'action directement utilisable par la dynamique des structures.

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 à séisme.

I-5- Aléa sismique

L'évaluation de l'aléa sismique sur un site donné consiste à déterminer les mouvements sismiques les plus agressifs dont on doit considérer l'occurrence sur ce site comme possible. Cette définition est de nature probabiliste, car la notion d'une occurrence possible est en pratique toujours liée à la fixation, explicite ou implicite, d'un seuil de probabilité au-dessous du quel l'aléa est considéré comme négligeable **[1].**

Cette évaluation se base sur la distribution temporelle et spatiale des séismes de la région étudiée, c'est-à-dire sa sismicité. L'hypothèse principale qui régit l'évaluation de l'aléa sismique est celle supposant que les séismes passés peuvent se reproduire dans la zone où ils sont apparus.

I-6- Effets de séisme

Lors d'un séisme, le glissement sur la faille génère des ondes sismiques qui vont se propager sur la terre depuis le foyer du séisme jusqu'à la surface. Au cours de ce trajet, elles traversent des milieux géologiques aux propriétés mécaniques variées (densité, vitesse de propagation des ondes sismiques,...), cela va perturber leur propagation et accroître la complexité du signal sismique. Certaines caractéristiques de site peuvent considérablement amplifier les oscillations du sol. Les bâtiments qui y sont implantés peuvent parfois subir des charges sismiques jusqu'à cinq fois plus élevées que les constructions similaires situées dans une zone moins dangereuse. Les destructions y sont donc fréquentes **[4].**

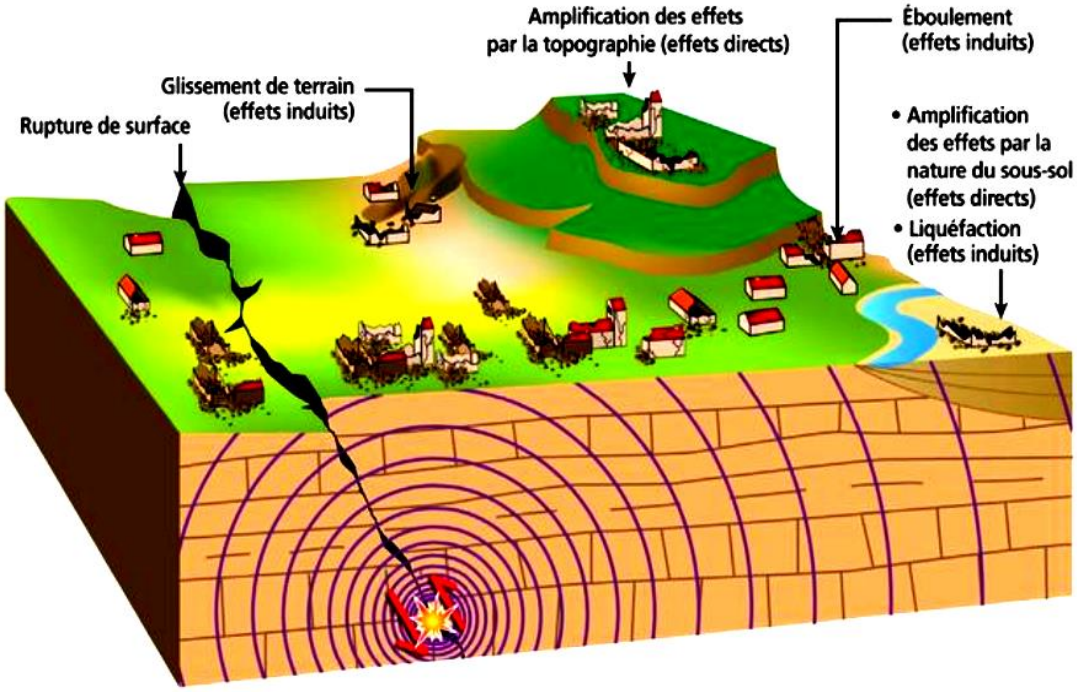

Figure I.7: Illustration des effets de séisme

a) Effets directs :

Action du sol sur les ouvrages, de type oscillatoire ou résultant d'un déplacement différentiel; ces phénomène peuvent être amplifiés par des effets de site dus à la topographie, à l'hétérogénéité des sols ou à la présence des sols mous de forte épaisseur (plus de 15 cm) **[5]**.

b) Effets de site

on trouve :

- Topographies amplifiant l'action sismique :

La réflexion des ondes sismiques à l'intérieur de ces reliefs peut amplifier les secousses qui y parviennent.

- Sols alluvionnaires de forte épaisseur amplifiant l'action sismique :

La réflexion des ondes sismiques " prisonnières " à l'intérieur d'une couche de sol meuble entre la surface et le substratum rocheux a pour conséquence d'amplifier certaines composantes des secousses sismiques qui y. Ces composantes peuvent être très sous-estimées par la réglementation.

Pour les constructions fondées sur des sols mous de forte épaisseur, il s'y produit en général une amplification importante des amplitudes d'oscillation.

c) Effets induits

Les effets induits sont des grands mouvements de sols déclenchés par les secousses sismiques, peuvent provoquer la perte de toute construction, parasismique ou non. Il s'agit principalement des phénomènes suivants :

- Liquéfactions et tassements des sols :

Sous l'action des ondes P qui se propagent dans les milieux liquides, la pression d'eau interstitielle entre les grains du sol augmente et leur fait perdre leur cohésion. La couche devient localement et momentanément « liquide » dans l'épaisseur de sol concernée qui peut être plus ou moins importante. Au-delà de 15 m de profondeur, la masse des couches superficielles exerce une contrainte assez élevée pour s'opposer à l'augmentation de pression d'eau **[2]**

les phénomènes de liquéfaction et tassement se produisent dans les sols sableux fins saturés en eau.

Enfoncement d'un bâtiment dans le sol sous l'effet d'un tassement localisé dû au phénomène de liquéfaction du sol d'implantation. Un traitement de sol ou des fondations profondes auraient pu prévenir le phénomène. Séisme de Caracas, 1967,) **[2]**.



Figure I.8 : Ruine du bâtiment après liquéfaction du sol d'assise

- Tsunami

Lorsque le mouvement relatif des bords de la faille est de type coulissage vertical et qu'il a lieu au fond de la mer, provoque une formation d'onde en surface de l'eau (vague). Cette vague se propage depuis la zone épicentrale sur des centaines de kilomètres. Aux abords de la côte, en raison de la remontée des fonds, la hauteur de la vague peut dépasser la dizaine de mètres pour des séismes majeurs Le « tsunami » signifie en japonais « vague du port » et le déferlement de cette vague peut emporter les bateaux et détruire les constructions **[1]**.

I-7- Classification des zones sismique en Algérie selon (RPA 99)

Le territoire national est divisé en quatre zones de séismicité croissante, définies sur la carte des zones de séismicité et le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par commune, soit :

Zone O : sismicité négligeable

Zone I : sismicité faible

Zone II : sismicité moyenne

Zone III : sismicité élevée **[6].**

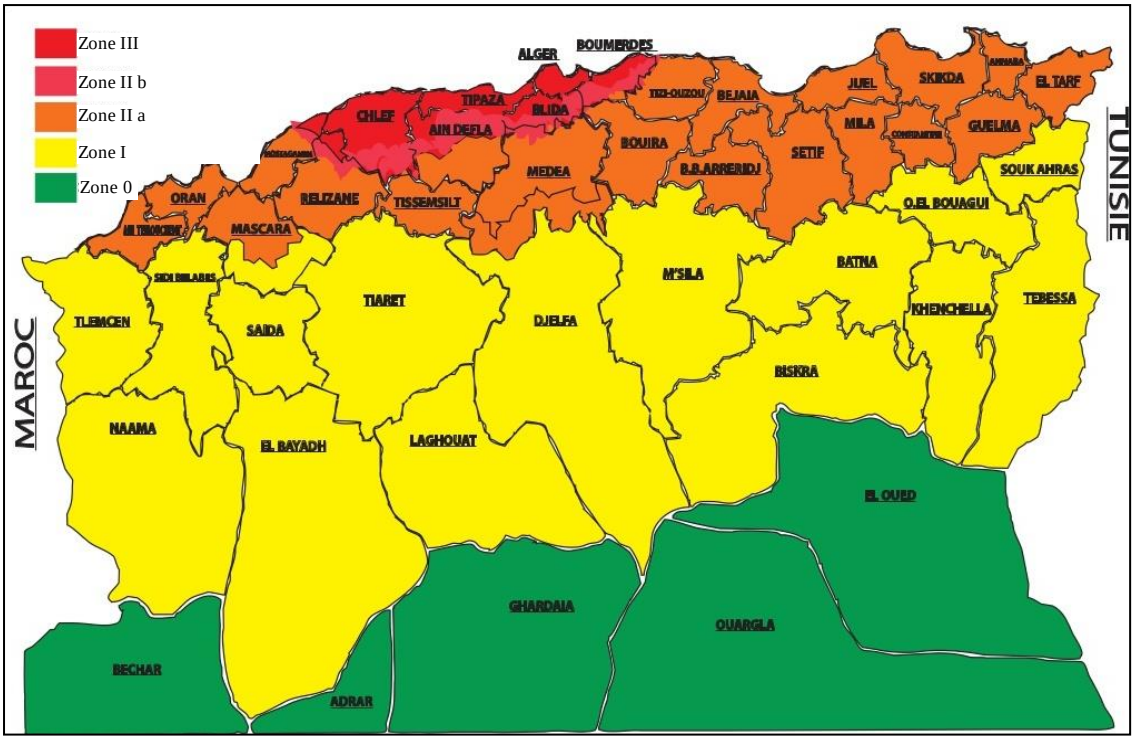

Figure I.9 : Carte de zonage sismique de territoire national

I-8- Caractérisation des accélérogrammes

L'intégrale de Duhamel permet le calcul de la réponse dynamique de l'oscillateur simple quelle que soit la sollicitation. Laccélérogramme définit la description temporelle d'une sollicitation dynamique, $\gamma(t)$, d'un séisme par exemple.

Différents paramètres peuvent caractériser des accélérogrammes pour un site donné :

l'accélération maximale du sol ou amplitude maximale du mouvement du sol,

- le contenu fréquentiel du séisme représenté par son spectre de réponse
- la durée de l'accélérogramme
- le nombre de cycles forts
- l'intensité

Pour obtenir les spectres de réponse élastique, plusieurs accélérogrammes, représentatifs des séismes probables d'une région, sont appliqués à des oscillateurs simples présentant des périodes propres diverses, la résolution de l'intégrale de Duhamel permet de définir, pour chaque période propre, le maximum de l'accélération, ou de la vitesse ou encore du déplacement de la masse.

La courbe enveloppe de ces maxima constitue un spectre de réponse élastique **[8].**

I-9 Mouvement sismique

I-9-1 L'amplitude :

Elle est généralement définie par la valeur du pic d'accélération.

I-9-2 la fréquence :

Une fréquence moyenne est déterminée en comptant le nombre de fois que l'accélérogramme coupe l'axe des abscisses par unité de temps .

I-9-3 La pèriode :

C'est la durée d'un cycles d'oscillations, ou bien l'inverse de la fréquence **[9].**

I-10 Enregistrement des séismes

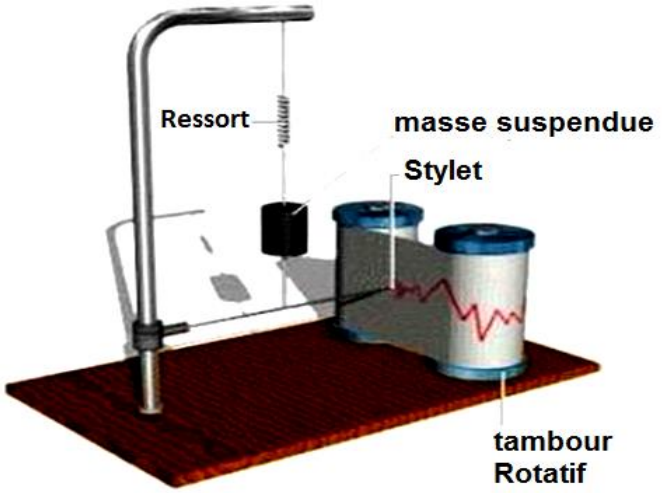

Figure I.10 : Fonctionnement d'un sismographe

Le sismographe présenté ici permet de détecter et d'enregistrer les mouvements des ondes verticales, Lorsque d'une onde sismique atteint le sismographe, le sol, le cadre et le tambour rotatif vibrant en oscillant verticalement, alors que la masse suspendue par le ressort reste immobile du fait de son inertie, le stylet relié à la masse trace ainsi une ligne brisée sur le tambour **[10].**

I-11 Spectre de réponse

I-11-1 Définition de spectre de réponse :

Courbes permettant d'évaluer la réponse d'un bâtiment à un séisme passé ou futur.

I-11-2 Spectre de réponse de calcul

L'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant :

$S/g = 1.25\ A\ (1+ (2.5\eta -1))$ $\quad 0 \le T \le T_1$

$S/g = 2.5\eta\ (1.25\ A)\ (\frac{Q}{R})$ $\quad T_1 \le T \le T_2$

$S/g = 2.5\eta\ (1.25\ A)\ (\frac{Q}{R})\ (\frac{T2}{T})^{2/3}$ $\quad T_2 \le T \le 3.0\ s$

$S/g = 2.5\eta\ (1.25\ A)\ (\frac{Q}{R})\ (\frac{T2}{3})^{2/3}\ (\frac{3}{T})^{5/3}\ (\frac{Q}{R})$ $\quad T > 3.0\ s$

A : coefficient d'accélération de zone.

η : facteur de correction d'amortissement (quant l'amortissement est différent de 5 %) .

$$\eta = \sqrt{7/(2+\xi)} \geq 0.7$$

ξ : pourcentage d'amortissement critique.

R : coefficient de comportement de la structure.

T1, T2 : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.

Q : facteur de qualité

Dans la détermination de la valeur de Q, il y a lieu de tenir compte que les irrégularités en plan et en élévation ont déjà été prises en charge par le modèle. Par ailleurs, en cas d'analyse tridimensionnelle il y a lieu de prendre comme valeur de Q la plus pénalisante, des valeurs calculées suivant les deux directions orthogonales de référence

L'action sismique doit être appliquée dans toutes les directions jugées déterminantes pour le calcul des forces sismiques ainsi que les directions qui leur sont perpendiculaires, compte tenu de la configuration en plan de la structure. Pour les structures ayant leurs éléments de contreventement distribués le long de deux directions orthogonales, ces deux directions sont à retenir comme directions d'excitation **[6].**

I-12- Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté et expliqué le phénomène sismique dans son ensemble. Il s'agit de comprendre la théorie de la tectonique des plaques et les différents mouvements qui résultent de leur interaction donnant naissance à des séismes. Ensuite, on définit les différents types de séismes et leurs caractéristiques ainsi que les ondes qu'ils génèrent et les effets qui peuvent être engendrés sur les ouvrages.

La dernière partie du chapitre expose des zones sismiques en Algérie et plusieurs paramètres très importants. La connaissance de ces phénomènes nous aidera plus tard dans l'étude d'influence de torsion sur le comportement sismique des structures portiques en béton armé .