

Chapitre I : Synthèse bibliographique sur les séismes

Introduction

Le séisme est le risque naturel majeur le plus meurtrier et qui cause le plus de dégâts. De 1990 à 2004, les séismes ont fait plus de 80 000 victimes dans le monde .

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. Plus encore que pour les autres catastrophes naturelles, la connaissance des phénomènes passés est la clef de l'avenir. 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 Kôbé 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.

I-1- Généralités sur les séismes :

I-1-1- Définition d'un séisme:

Les efforts tectoniques peuvent occasionner des déplacements au niveau d'une faille (foyer). Cette libération brutale d'énergie occasionne une vibration du sol : le séisme. À la surface du sol , le point situé à la verticale du foyer est appelé épicerentre. Le foyer peut être situé à faible profondeur (quelques kilomètres), on parle alors de séisme superficiel , ou à grande profondeur (plusieurs dizaines, voire centaines de kilomètres), on parle alors de séisme profond. Le séisme est d'autant plus violent en surface que la quantité d'énergie emmagasinée au niveau de la faille avant le séisme est importante et que la faille est proche de la surface.

L'énergie dégagée lors d'un séisme peut atteindre, voire dépasser pour les événements cataclysmiques, une puissance dix millions de fois plus importante que la bombe lâchée sur Hiroshima en 1945. Les séismes peuvent être ressentis et destructeurs à plusieurs centaines de kilomètres de l'épicentre (Mexico, 1985).

Un séisme se caractérise par

a-Le foyer : est le point de départ de la rupture des roches .

b-L'épicentre : est le point de la surface terrestre situé à la verticale du foyer

c -La magnitude : mesure l'énergie libérée par le séisme au niveau du foyer .

d-L'intensité : mesure les conséquences du séisme en surfac .

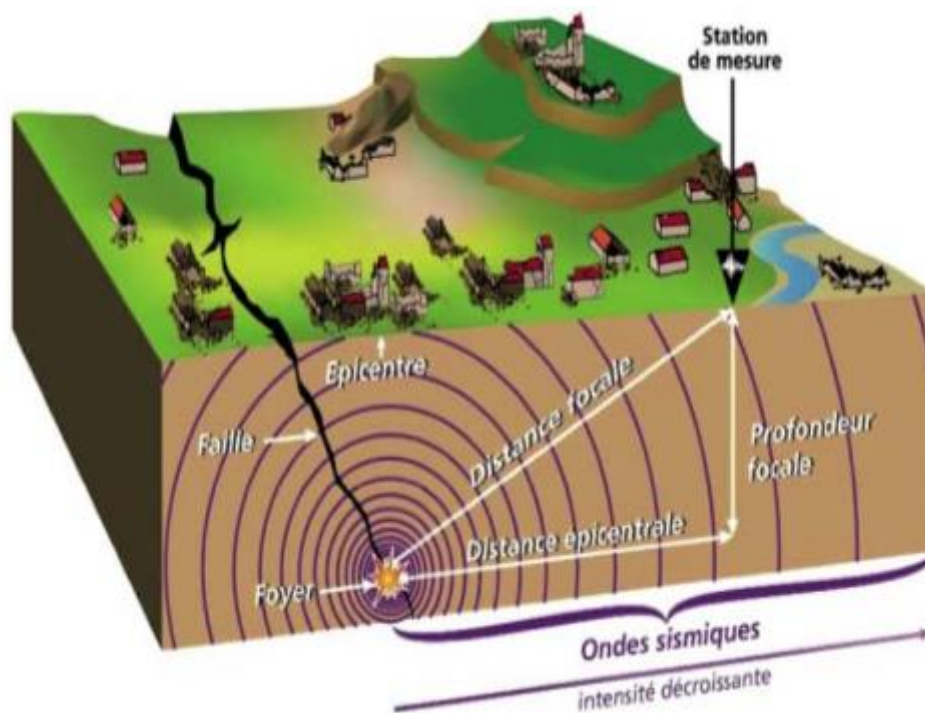


Figure I-1- Caractéristiques d'un séisme .

: I-1-2- La localisation des séismes

Comme cela a été évoqué précédemment, l'activité sismique est principalement liée à la tectonique des plaques .

a- Les séismes inter-plaques

Dans la majorité des cas, les séismes se déclenchent en limite de plaques. C'est en effet au

niveau de ces contacts que les contraintes occasionnées par la dérive des continents sont les plus fortes . Dans le monde , les zones les plus actives sont situées en Asie (Japon, Chine, Indonésie , Himalaya), au Proche-Orient (Turquie, Afghanistan), en Afrique du Nord (Algérie, Maroc) et en Amérique (Chili, Mexique, États-Unis) . Séismes et volcanisme sont souvent associés sur ces limites de plaques .

b- Les séismes intra-plaque

Même à l'intérieur des plaques tectoniques, des failles peuvent jouer et occasionner des séismes. Généralement moins violents que les précédents, ils correspondent à des réajustements des pressions dans la croûte terrestre .

c- Les séismes liés à l'activité volcanique

Les éruptions volcaniques , autre phénomène associé à la tectonique des plaques occasionnent une multitude de séismes et de micro-séismes. Ces derniers peuvent permettre de prédire l'imminence d'une éruption. Dans le cas d'une activité explosive, la magnitude du séisme peut être significative.

d-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, minerais, etc).

I-1-3- Origine d'un séisme

Le séisme est un phénomène 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 . 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».

I-1-4- Intensité et magnitude d'un séisme:

On peut caractériser l'importance d'un tremblement de terre ou séisme par l'intermédiaire de différents paramètres .

a- L'intensité macrosismique : l'intensité mesure l'importance d'un séisme en un lieu donné d'après les manifestations ressenties par la population et les dégâts qu'il a pu provoquer. Pour un séisme donné , l'intensité dépend de la distance à l'épicentre, elle décroît quand cette distance augmente, mais des anomalies peuvent apparaître, dues à des conditions géologiques particulières et topographiques .

b- La magnitude de Richter : c'est une évaluation de la quantité d'énergie libérée au niveau du foyer du tremblement de terre . Cette échelle , définie en 1935 , est basée sur le principe d'enregistrement des mouvements du sol effectué en un certain nombre de points d'observations situés à des distances quelconques de l'épicentre. A partir d'une étude statistique, on a pu établir une corrélation entre l'énergie libérée par un séisme et la magnitude .

Magnitude	Energie en J
0	
1	
2	$\sim 10^3$
3	$\sim 10^6$
4	$\sim 10^9$
5	$\sim 10^{10}$
6	$\sim 10^{13}$
7	$\sim 10^{15}$
8	$\sim 10^{17}$
9	sup à 10^{18}

Tableau I.1: Echelle de magnitude de Richter

Intensité	Dégâts Matériels
Degré I	secousse imperceptible par l'homme, inscrite seulement par les sismographes.
Degré II	secousse ressentie par un petit nombre de personne, surtout par ceux situés aux étages supérieurs des maisons.
Degré III	secousse faible ressentie par un certain nombre d'habitants, comme le serait l'ébranlement produit par une voiture lancée à grande vitesse; la direction et la durée de la secousse peuvent parfois être appréciées.
Degré IV	ébranlement constaté par quelques personnes en plein air, mais beaucoup à l'intérieur des maisons; vibration de vaisselle, craquement de planchers et des plafonds.
Degré V	ébranlement constaté par toute la population; réveil des dormeurs; ébranlement de meubles et de lits.
Degré VI	des personnes effrayées sortent des habitations; tintement général des sonnettes, arrêt des pendules, crépis fendillés, vaisselle brisée, cloches mises en branle, chute de plâtras.
Degré VII	maisons légèrement endommagées, lézardes dans les murs, chutes de cheminées isolées en mauvais état; écroulement de minarets, de mosquées ou d'églises mal construites.
Degré VIII	sérieux dommages, fentes béantes dans les murs, chute de la plupart des cheminées, des clochers; renversement ou rotation des statues, des monuments funéraires; fissures dans les pentes raides ou dans les terrains humides; chutes de rochers en montagne.
Degré IX	de solides maisons en construction européenne sont sérieusement endommagées, un grand nombre, rendues inhabitables; d'autres s'écroulent plus ou moins complètement.
Degré X	a plupart des bâtiments en pierre et en charpente sont détruits avec leur fondations; fentes dans les murs en briques; rails de chemins de fer légèrement recourbés; dommages aux ponts; tuyaux de conduites brisés, fentes et plis ondulés dans les rues; éboulements; l'eau des rivières et des lacs est projetée sur le rivage.
Degré XI	destruction totale des bâtiments en pierre, des ponts des digues; larges déchirures et crevasses dans le sol; grands éboulements de terrain.
Degré XII	rien ne demeure plus des œuvres humaines; changement dans la topographie; formations de grandes failles, dislocations horizontales et cisaillement du sol; rivières détournées de leur cours.

Tableau I.2 : Echelle d'intensité de Mercalli

I-1-5- Action sismique

Le mouvement sismique (ou action sismique) peut se décomposer en la somme d'une Composante horizontale (suivant deux directions principales H_x et H_y) et d'une composante Verticale V_z . Il est utile de savoir que la composante verticale est , à l'aplomb de l'épicentre, égale à la composante horizontale .

Plus nous nous éloignons de cette épicentre, plus la composante verticale est importante par rapport à la composante horizontale, elle perd environ 50 à 70% de son influence .

L'importance du mouvement vertical est souvent négligeable, car moins dommageable, que le mouvement horizontal. D'autant plus, du fait, que les structures soient réalisées pour supporter leur poids propre , cette composante verticale est moins importante , alors que la composante horizontale , elle , sera préférée pour dimensionner les structures à la résistance aux efforts horizontaux .

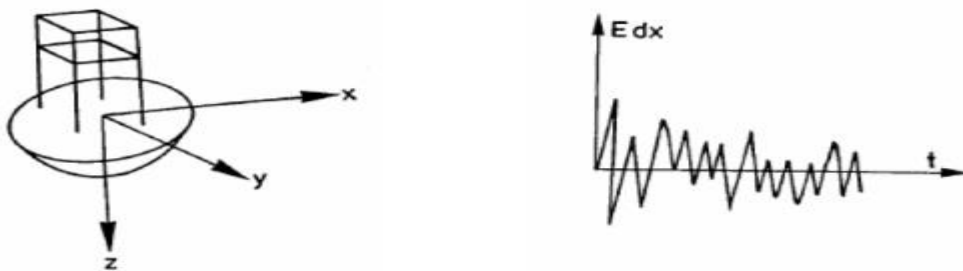


Figure I.2-Décomposition de l'action sismique

I-1-6- Les failles :

En géologie , c'est une ligne de cassure le long de laquelle un compartiment de roche , ou une section de la croûte terrestre , a été déplacé par rapport au compartiment voisin . Le mouvement responsable de cette dislocation peut être vertical ou horizontal, ou les deux à la fois

lorsque le mouvement d'une faille est soudain et abrupt, il peut générer un grave séisme et même Fissure de la surface de la terre créant une forme de relief nommé escarpement de faille.

Suivant le type de mouvement relatif, on définit trois types de failles :

a-Les failles normales : Produite par des forces de distension, elle se forme lorsque deux blocs de l'écorce terrestre s'écartent l'un de l'autre .

b-Les failles de décrochement: Se forme lorsque deux blocs de l'écorce terrestre glissent l'un contre l'autre selon un mouvement principalement horizontal.

c-Les faille inverse : Elle est produite par des forces qui compriment la croûte terrestre, se forme lorsque deux blocs de l'écorce terrestre subissent tous deux une compression et que l'un des blocs chevauche l'autre.

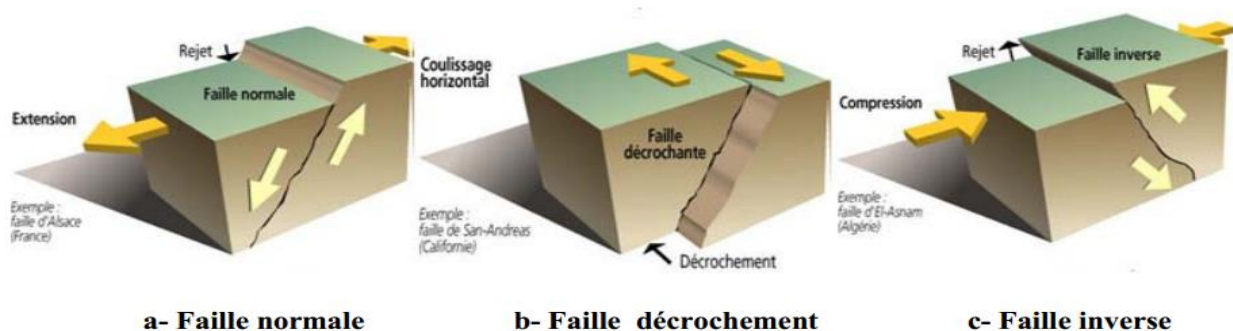


Figure I-3- Les différents type de faille

I-1-7- Les effets de propagation des ondes:

Les vibrations engendrées par un séisme se propagent dans toutes les directions , on Distingue les ondes de volume qui traversent la terre et les ondes de surface qui se propagent parallèlement à sa surface.

a- Les ondes de volume:

Elles se propagent à l'intérieur du globe. Leur vitesse de propagation dépend du matériau travers et d'une manière générale augmente avec la profondeur .

-les ondes P : L'onde P , ou onde primaire , c'est l'onde qui arrive la première , elle est aussi appelée onde longitudinale . Le déplacementn du sol qui accompagne son passage s e fait par dilatation et compression successives , parallèlement à la direction de propagation de l'onde .

C'est la plus rapide (6 km.s^{-1} près de la surface) et elle est enregistrée en premier sur un sismogramme . Elle est responsable du grondement sourd que l'on peut entendre au début d'un tremblement de terre. C'est cette onde qui sonne l'alerte du tremblement de terre, mais ce n'est pas la plus dangereuse .

-les ondes S : En effet, c'est l'onde S secondaire qui arrive quelques secondes plus tard et qui est la plus destructrice car elle est transversale et non longitudinale comme l'onde P . A son passage , les mouvements du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde. Cette onde ne se propage pas dans les milieux liquides, elle est en particulier arrêtée par le noyau de la Terre. Sa vitesse est plus lente que celle des ondes P, elle apparaît en second sur les sismogrammes. Quand les ondes de volume atteignent la surface du sol elles sont réfléchies tout en générant aussi des ondes de surface .

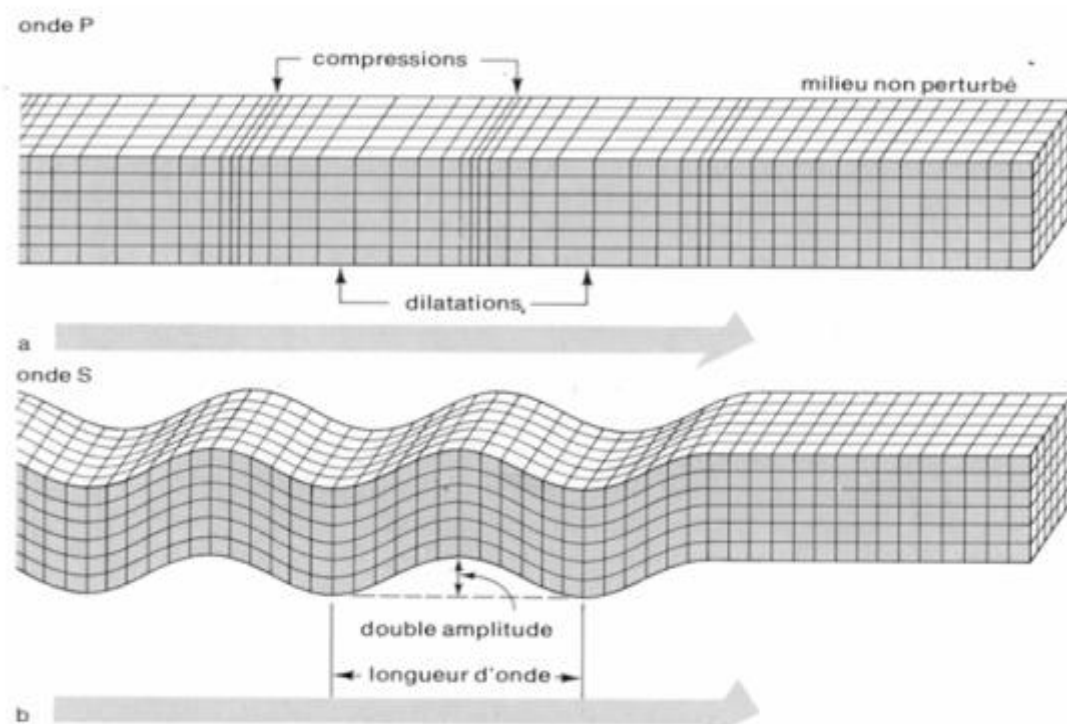


Figure I-4- Ondes de volume

b- Les ondes de surface :

Ce sont des ondes guidées par la surface de la terre. Leur effet est comparable aux rides formées à la surface d'un lac . Elles sont moins rapides que les ondes de volume mais leur amplitude est généralement plus forte.

-Ondes love : Leur déplacement est essentiellement le même que celui des ondes S sans mouvement vertical . Les ondes Love provoquent un ébranlement horizontal qui est la cause de nombreux dégâts aux fondations des édifices.

-Ondes de Rayleigh : Le déplacement est complexe , assez semblable à celui d'un Poussière portée par une vague, un mouvement à la fois horizontal et vertical elliptique, en fait.

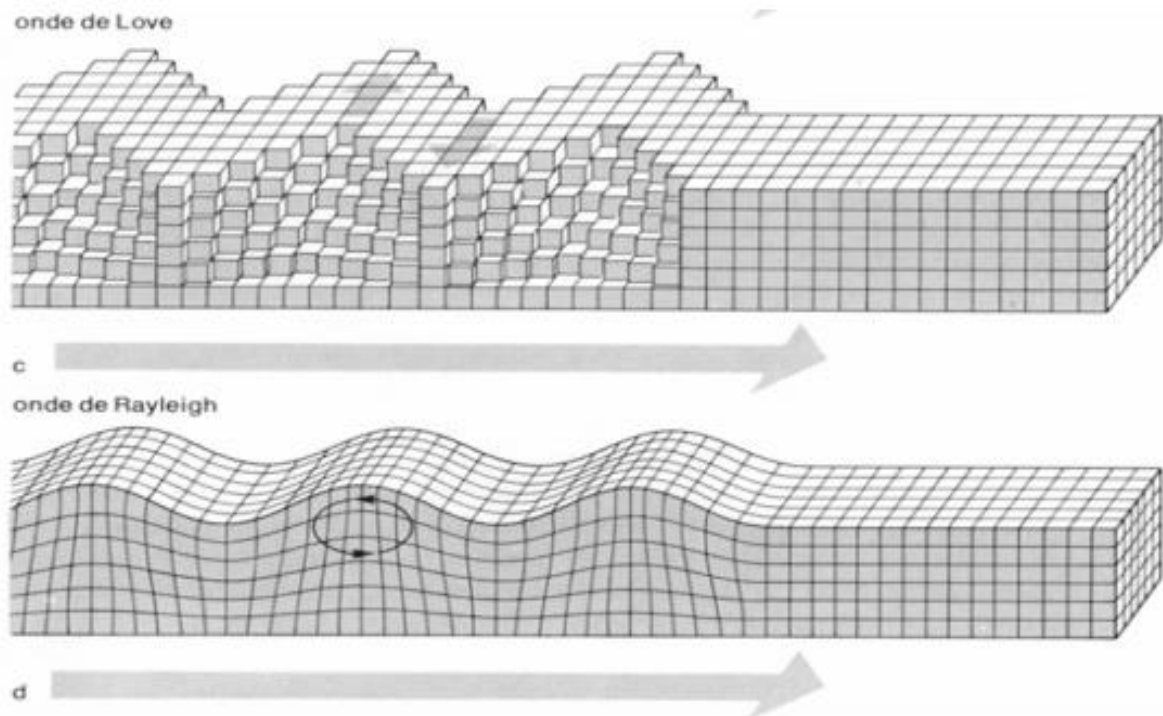


Figure I.5:Ondes de surface

I-1-8- Les différents types des séisme:**a) Les séismes superficiels**

Qui sont les plus dangereux (à moins de 60 km) ,se produisent au niveau des collisions continentales ou au niveau de zones de coulissages[1], Ils se produisent en faible profondeur, dont le foyer est relativement superficiel (moins de 100 km de profondeur). Ces tremblements de terre sont rarement ressentis par les hommes et ne représentent que 5% environ de l'énergie sismique de la planète

b) Les séismes intermédiaires

Les séismes intermédiaires de 60 à 300 km de profondeur ont mieux à proximité des plaques convergentes. Là se dissipent environ 15% de l'énergie sismique de la Terre. Les tremblements qui en résultent, à des profondeurs superficielles ou intermédiaires (entre 100 et 300 km).

c) Les séismes profonds

Ils se produisent à des profondeurs pouvant atteindre les 700 km, le point de rupture se situant à une profondeur comprise entre 300 et 645 km, soit en pratique la base de T asthénosphère. On cite les séismes associés aux zones de subduction représentent presque la moitié des séismes destructeurs de la Terre et dissipent 75% de l'énergie sismique de la planète. [4]



Figure I. 6: séisme en Alaska

Ce séisme, qui atteignit la magnitude 9,2 sur l'échelle de Richter, fut l'un des plus violents d'Amérique du Nord. Il dévasta Anchorage et Valdez en 1964.

I.1.9. Effet et conséquences des séismes

Les tremblements de terre font peser de graves menaces sur les populations vivant dans des régions sismiques. Ils peuvent semer la mort en détruisant des habitations, des édifices publics, des ponts, des barrages ou en déclenchant de catastrophiques glissements de terrains.

Les mouvements sismiques excitent les ouvrages par déplacement de leurs appuis et sont plus ou moins amplifiés dans la structure. Les séismes engendrent également assez souvent, des effets spectaculaires et particulièrement dangereux :

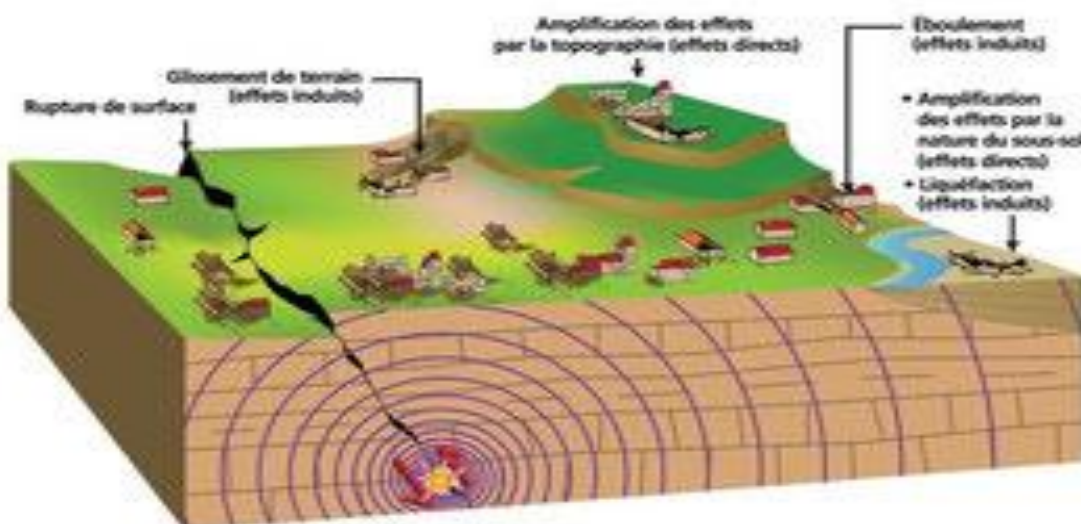


Figure I.7: Localisation schématique des effets possibles d'un séisme

Les effets du séisme peuvent être plus ou moins destructeurs d'un lieu à l'autre, pour une même construction, parfois à quelques mètres près. L'étude de l'aléa sismique local permet ainsi de préciser la part du risque liée au site d'implantation.

- Effets directs du séisme :

Le jeu de la faille peut être apparent en surface si :

- La Magnitude du séisme est élevée : supérieure à 5.5 (sinon le déplacement est trop faible).

- Son foyer est superficiel : profondeur inférieure à 5km (sinon le déplacement n'atteint pas la surface).[1]

- Les effets de site :

Amplification locale des secousses à cause de la configuration du site Comme nous l'avons vu, chaque site, même à équidistance du foyer sismique, a une « réponse » qui lui est propre aux différents séismes et il modifie les ondes qui parviennent au « rocher horizontal » sous-jacent

- Effet de site topographique :

Les reliefs amplifient les secousses (butte, crête, bord de falaise) La réflexion des ondes sismiques « prisonnières » à l'intérieur de ces reliefs peut amplifier les secousses qui y parviennent (effet de site).

- Effet de site sur sol meuble :

Les alluvions de forte épaisseur amplifient l'action sismique. La réflexion des ondes sismiques « prisonnières » à l'intérieur d'une couche de sol meuble entre la surface et le sous-sol rocheux a pour conséquence d'amplifier les oscillations de période longue. Ainsi, les constructions de période propre plutôt élevée sur les sols meubles peuvent subir une action sismique beaucoup plus importante que sur le sol rocheux: éventuelle mise en résonance.[9]

- Effets induits :

Les glissements de terrains, chutes de pierres (purge des versants) Sous l'effet des secousses, tout ce qui se trouve en situation d'instabilité sur les versants glisse vers l'aval : la terre, les roches, et les bâtiments sur les sols instables.

- Tsunamis :

Le raz de marée (qu'on appelle du nom japonais "tsunami" dans le Pacifique) constitue un phénomène particulièrement destructeur consécutif à un séisme. Il peut survenir plusieurs heures après le séisme, et à des milliers de kilomètres de l'épicentre. Les Tsunamis qui traversent le pacifique sont observés par satellite par les japonais qui lancent le cas échéant une alerte d'évacuation des rivages.[1]

- Effets d'origine humaine, problèmes urbains :

D'autres effets induits par la secousse sismique sont susceptibles de provoquer des désordres ou la ruine des bâtiments : propagation des incendies post-sismiques, inondations par rupture de retenue d'eau, action de remblais lourds sur sols instables, purge des terrassements sans soutènement. [1]

I-2: Les séismes dans le monde

I-2-1: Distribution mondiale des séismes

Les tremblements de terre se produisent dans les régions actives du point de vue géologique (zones de subduction), les zones des dorsales océaniques et les régions de formation de chaînes de Montagnes. Ils se localisent dans les zones de limite des plaques tectoniques. Les zones où se produisent fréquemment des séismes sont dites ceintures sismiques. On connaît trois principales ceintures sismiques à la surface de la Terre (Figure I.8).

La ceinture circum pacifique : c'est la zone qui entoure l'océan pacifique. C'est la plus importante zone sismique à la surface de la Terre et libère plus de 80 % de l'énergie sismique de notre planète. Cette chaîne couvre le Chili, le Pérou, l'Amérique Central, la région des Caraïbes, le Mexique, Kamtchatka, le Japon, les Philippines, L'Indonésie, la Nouvelle Zélande... Cette zone coïncide avec les zones de subduction et les foyers des séismes peuvent être profonds.

La ceinture Alpo-himalayenne : elle comprend la bande plissée allant des Açores à la Birmanie en passant par l'Espagne, le Maroc, l'Algérie, l'Italie, la Turquie, l'Iran, le Nord de l'Inde et l'Himalaya. La majorité des séismes de cette ceinture sont Superficiels

La zone des dorsales océaniques : des séismes sont localisés le long des dorsales océaniques. Ils sont en général imperceptibles étant donné qu'ils se produisent au milieu des océans.[2]

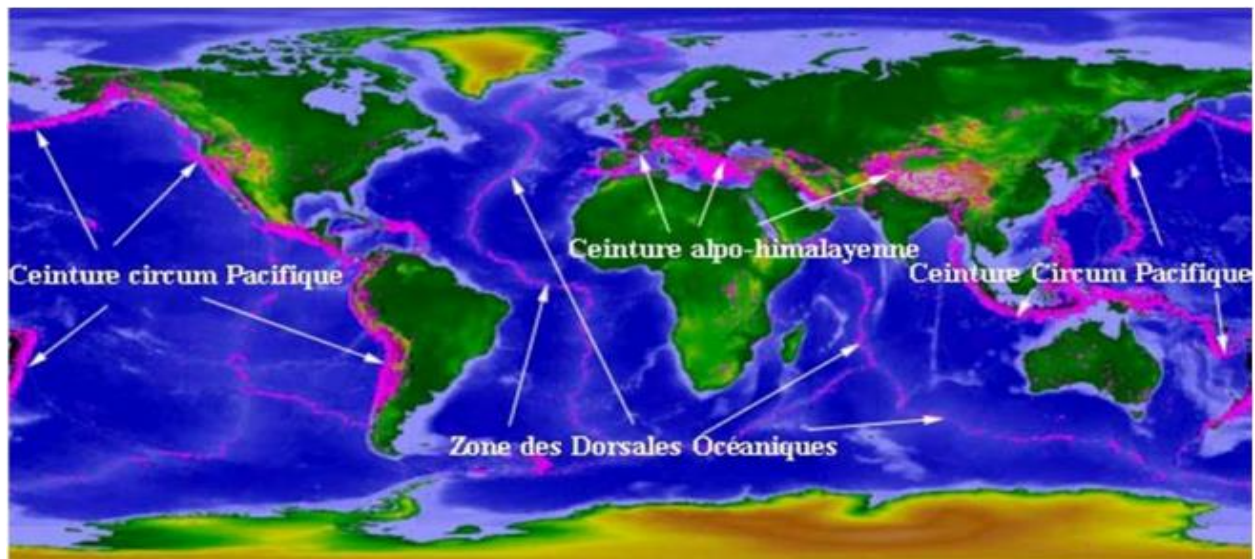


Figure I.8: Carte de la distribution mondiale des tremblements de Terre [2]

I.2.2-Les grands séismes dans le monde

Le plus puissant tremblement de terre de l'histoire enregistré est celui qui se produisit au Chili le 22 mai 1960. Sa magnitude a atteint 9,5 sur l'échelle de Richter. Il a fait 3000 victimes.

Les tremblements de terre **les plus meurtriers** dans le monde ces dernières années sont donnés dans le (tableau I.3).

Ville / Zone	Pays	Date	Magnitude	Victimes
Bhuj	Inde	26/01/2001	M=7,7 20	20 085 morts
Bam	Iran	26/12/2003	M=6,6	26 200 morts
Sumatra	Indonésie	26/12/2004	M=9,3	232 000 morts
Muzaffarabad	Pakistan	08/10/2005	M=7,6	79 410 morts
Province du Sichuan	Chine	12/05/2008	M=7,9	87 149 morts
Port-au-Prince	Haïti	12/01/2010	M=7,2	230 000 morts

Tableau I.3 : les séismes les plus meurtriers dans le monde



Figure I.9:dégâts des séismes en kobe- japon

I.3:Les séismes en Algérie

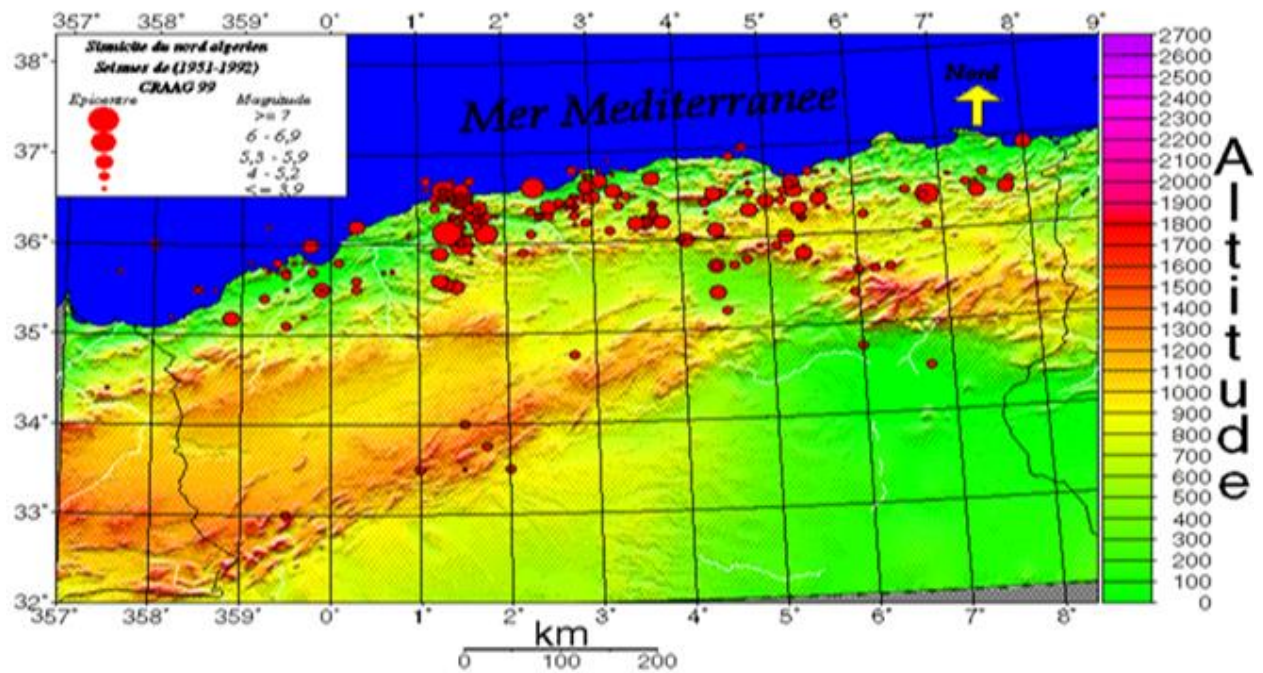
Une grande partie du Nord de l'Algérie est susceptible d'être soumise à d'importantes secousses sismiques dont les effets sont catastrophiques, (ces séismes font peser de graves menaces sur les populations, peuvent semer la mort en détruisant les habitations, les édifices publics, les ponts les barrages et glissement de terrains, ...) comme on peut le remarquer sur le tableau I.4.

Le désastre de Chlef en 1980 a réveillé les consciences c'est ainsi le centre national de recherche appliquée en génie sismique CGS est créé en 1985.[3]

Evenement			Digats		Reglementation
Lieu	Année	Magnitude	Morts	Battisses détruites	
Chlef	1954	6.7	1243	20000	AS 55
Chlef	1980	7.3	2633	20000	RPA81
Tipaza	1989	6.1	35	4116	
Mscara	1994	5.6	171	751	
Ain temouchent	1999	5.5	25	600	RPA 99
Boumerdas	2003	6.8	2200		RPA 2003

Tableau I.4: les séismes les plus importants en Algérie

De nombreuses règles et recommandations ont été éditées dont en particulier : Les règles Parasismique. (RPA88),(RPA89)et(RPA99).



I.5- Zonage du risque sismique « zoning »

Le zonage du risque sismique, c'est - à - dire la division du territoire en « zones de sismicité » à l'intérieur desquelles l'aléa sismique peut être considérée comme uniforme, constitue une base essentielle pour la définition de règles régissant les constructions résistantes aux séismes . Le zonage sismique s'efforce de classer les régions, suivant le niveau de l'aléa. Un grand nombre de pays adoptent la représentation suivante:

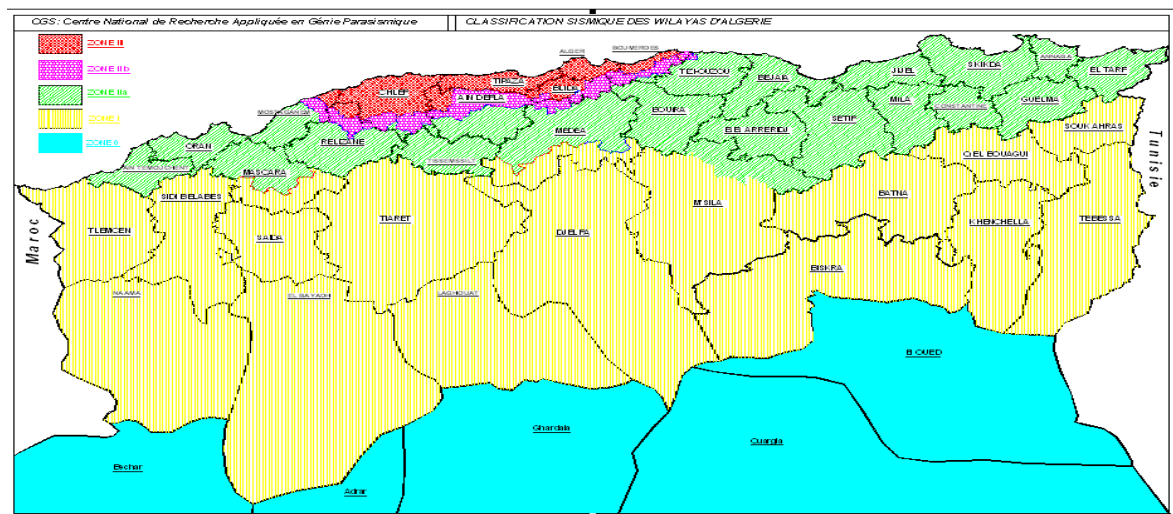


Figure I.12 : Zonage du territoire National

- Zone 0 : Sismicité négligeable
- Zone 1 : Sismicité faible
- Zone 2 « a » et « b » : Sismicité moyenne
- Zone 3 : Sismicité élevée

I.4:Évolution de la Réglementation Parasismique Algérienne

1978 : Version préliminaire du code parasismique algérien

- inspirée du code américain (UBC 73/76).
- Les forces sismiques sont calculées à l'aide de la méthode équivalente statique

1981 : Edition de la première version du code parasismique algérien (RPA 81) après le séisme d'El Asnam (M 7,2 / 10 octobre 1980) et mise en application par arrêté en parallèle avec le " PS-69 + compléments".

1983: RPA 81 (version 83) exclusivement

1988: Révision du RPA 81 (version 83)

- Réaménagement du document

- Nouvelles prescriptions pour poteaux courts et linteaux et pour les nœuds
poteaux poutres en B.A

1999 : Seconde révision du code

- Modifications dans la méthode statique équivalente
- Meilleure explicitation de la méthode dynamique (méthode modale spectrale)
- Chapitres « Matériaux » et « Fondations » individualisés
- Version plus complète et mieux lisible

2003 : Troisième révision suite au séisme de Boumerdes (M 6,8 / 21 mai 2003).[5]