

II. Risques sismiques

II.1. Introduction

Les tremblements ou séismes de terre sont les catastrophes naturelles les plus, les plus destructrices, les plus dangereuses et imprévisibles dans le monde. Ils peuvent détruire une région entière et sinistrer des dizaines voire des centaines de milliers de personnes. La prévention est le moyen le plus efficace pour en atténuer les effets.

Les tremblements de terre ou séismes sont les catastrophes naturelles les plus dangereuses et imprévisibles. Ils peuvent dévaster une région entière et sinistrer des dizaines voire des centaines de milliers de personnes [1].

C'est le déplacement des plaques lithosphériques à la surface de la Terre qui engendre des contraintes sur les roches. Celles-ci peuvent alors se déformer et même se rompre déclenchant un séisme qui ne se traduit pas par la libération d'une quantité d'énergie colossale. Cette énergie se traduit par des ondes sismiques de volume et de surface qui compressent et étirent les roches traversées (ondes P) ou les secouent de haut en bas (ondes S). Le point de rupture s'appelle foyer ou hypocentre et le lieu en surface, directement à sa verticale, l'épicentre [1].

II.2. Qu'est-ce qu'un séisme ?

Un tremblement de terre ou séisme est une secousse (mouvement) naturel qui se traduit en surface par des vibrations du sol résultant de la libération brusque grande énergie accumulée par les contraintes exercées sur les roches en créant des failles, au moment où le seuil de rupture mécanique des roches est atteint. Un séisme débute brusquement et dure de quelques secondes à quelques minutes.

II.3. Pourquoi les séismes ?

Le séisme est dû au relâchement soudain des contraintes, provoqué par la rupture de la croûte terrestre le long d'un plan de faille. Cette rupture sismique est appelée Source sismique [2].

A la limite de ces plaques, des contraintes s'accumulent dans les roches qui se déforment jusqu'au point de rupture, au-delà duquel elles cassent brutalement le long d'une ou plusieurs failles, en libérant une énergie considérable. Le point à partir duquel se développe la rupture s'appelle le foyer. 80% des foyers sont situés entre la surface de la terre et 60 km de profondeur [1].

II.4. Comment se déclenche un séisme ?

La fracturation des roches en profondeur est due à l'accumulation d'une grande énergie qui se libère, par une rupture brutale des roches le long d'une faille, au moment où le seuil de rupture mécanique des roches est atteint. Les efforts tectoniques peuvent engendrer des déplacements au niveau d'une faille, lieu du « foyer ». À la surface du sol, le point situé à la verticale du foyer est appelé épicentre [1].

Le foyer peut être situé à faible profondeur de quelques kilomètres seulement, on parle alors de **séisme superficiel**. S'il se situe à grande profondeur, c'est-à-dire à plusieurs dizaines, voire à des centaines de kilomètres, on parle alors de **séisme profond** [1].

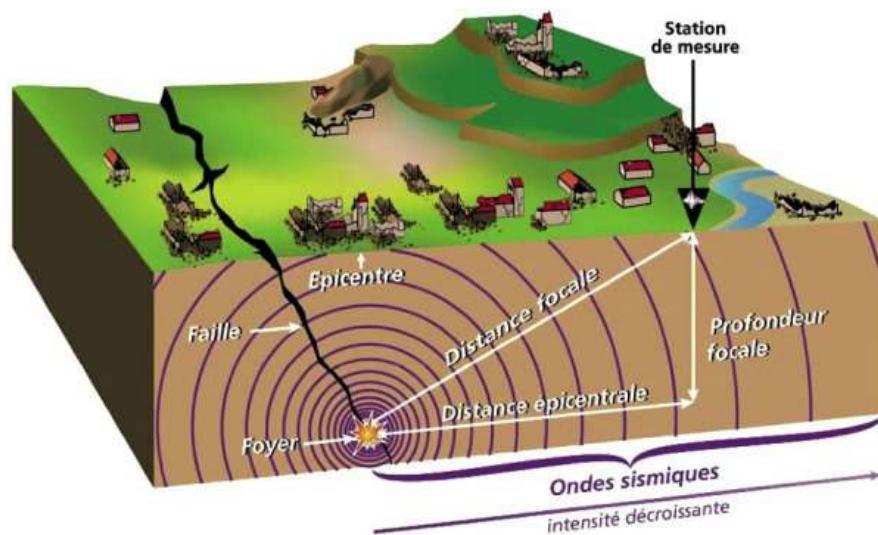


Figure II. 1. Naissance d'un séisme [3]

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. Les conséquences d'un séisme peuvent être de nature humaine, économique et/ou environnementale, les mouvements du sol pouvant provoquer des pollutions industrielles liées à l'endommagement des usines [1].

II.5. Où se produisent les séismes ?

La sismicité se concentre pour l'essentiel le long des frontières des grandes plaques tectoniques, là où les mouvements relatifs sont les plus importants. C'est notamment le cas tout autour de l'océan Pacifique (grands séismes d'Amérique du Sud, d'Alaska, du Kamchatka ou du Japon) ou à la périphérie de l'océan Indien (grands séismes indonésiens ou himalayens), là où plusieurs centimètres par an de déplacement.

Cependant, les plaques rigides sont capables de transmettre à distance les forces qu'elles subissent au niveau des zones de contact. C'est ainsi qu'on observe également des séismes loin des limites de plaques, comme par exemple dans le Centre-Est des Etats-Unis, en Australie ou en France [4].

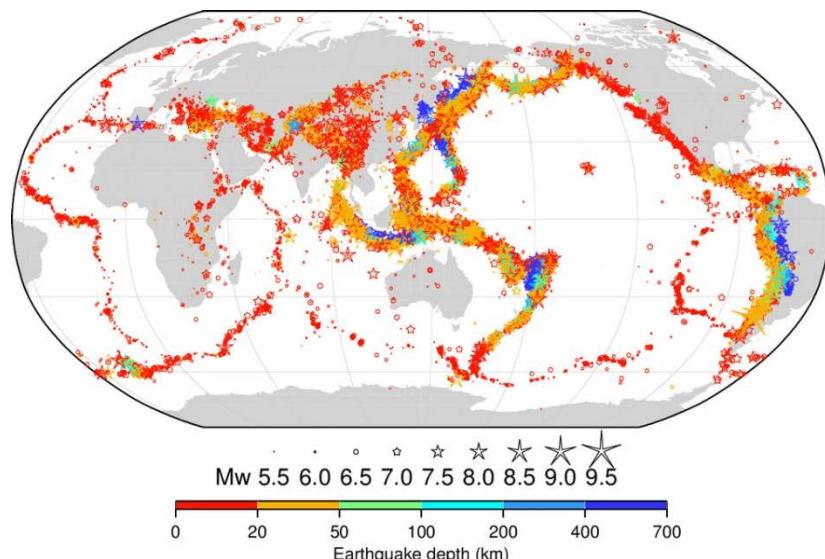


Figure II. 2. Carte de la sismicité mondiale, pour la période 1904-2014 et pour les séismes de magnitude supérieure à 5,5 [4]

II.6. Séisme naturel ou induits

- a) **Séismes naturels** : peuvent être « tectoniques » résultant du mouvement des plaques terrestres, ou peuvent aussi accompagner des phénomènes naturelles (ex : éruptions volcaniques, La fonte des glaciers et l'érosion modifient la force verticale s'exerçant sur la croûte peut générer des séismes).
 - b) **Séisme induits** : sont causés par l'activité humaine (ex : remplissage de barrages, exploitation de gaz...)
- Remplissage de barrages : mise en eau rapide de grands barrages-réservoirs, ou leur vidange rapide (surtout si la colonne d'eau retenue dépasse 100 m), ou probablement par le poids exercé par l'eau accumulée dans le lac de retenue. (Ex : Monteynard en France, Sichuan en Chine et Koyna en Inde).
 - Exploitation de gaz du schiste : le danger vient des techniques de forage utilisées : la fracturation hydraulique rend le sol instable ce qui peut causer de mini des séismes de 2 à 5. Aux Etats-Unis, où cette exploitation est très développée, et surtout dans certains Etats le niveau de sismicité est explosé depuis l'année 2010 à partir de laquelle les forages ont augmenté.
 - Exploitation minière : la matière retirée crée un vide qui fait varier les contraintes, des failles qui étaient stables peuvent alors se réactiver (En Afrique du Sud, 90% des séismes de magnitude supérieure à 2 enregistrés chaque année sont ainsi directement liés à l'exploitation minière).

II.7. Comment mesure t'on les Séismes ?

L'importance d'un séisme est évaluée :

- **Par la magnitude.** C'est un nombre qui caractérise l'énergie libérée au foyer et permet de comparer les séismes entre eux. Cette notion a été définie par Richter d'où le nom d'échelle de Richter. La magnitude d'une petite secousse sismique est de 4, celle d'un séisme grave entre 5 et 7, celle d'un séisme potentiellement **catastrophique entre 7 et 9**.
- **Par l'intensité** (échelle EMS-98) qui caractérise les effets et dégâts produits.

Tableau II. 1. Echelle de magnitude et d'intensité d'un séisme [5]

Echelle de magnitude (Richter)		Echelle d'intensité (EMS-98)	
Magnitude	Ordre de grandeur du nombre de séismes par an dans le monde	I	Secousse non perceptible
>0	100 millions	II	Secousse à peine perceptible
1	10 millions	III	Secousse faible ressentie de façon partielle
2	1 millions	IV	Secousse largement ressentie
3	100 000	V	Réveil des dormeurs
4	10 000	VI	Frayeurs
5	1 000	VII	Dommages aux constructions
6	100	VIII	Destruction de bâtiments
7	10	IX	Dommages générales aux constructions
8	1	X	Destruction générale des bâtiments
9	1 tous les 10 ans	XI	Catastrophe
L'échelle de MAGNITUDE mesure l'énergie libérée par le séisme. Elle ne varie pas quand on s'éloigne de l'épicentre.		XII	Changement de paysage
		L'échelle d'INTENSITE EMS-98 (European macroseismic scale 1998) définit les effets du séisme sur l'homme et les constructions. Elle diminue en principe quand on s'éloigne de l'épicentre.	

On parle d'**effet de site** lorsque les caractéristiques géologiques ou topographiques d'une région donnée peuvent amplifier ou atténuer les secousses sismiques:

- **La nature du sous-sol** joue par exemple un rôle fondamental. Un substrat meuble va amplifier considérablement les mouvements par rapport à un socle rocheux. On peut souvent constater, après un séisme des dégâts plus importants dans les bâtiments construits sur des alluvions que sur un sol rocheux (ex le séisme de Mexico en 1985) [6].
- **Topographie locale** : les secousses sont également amplifiées par la **topographie locale**. Les mouvements sont alors beaucoup plus forts sur le haut d'une colline, d'une butte ou sur le rebord d'une falaise

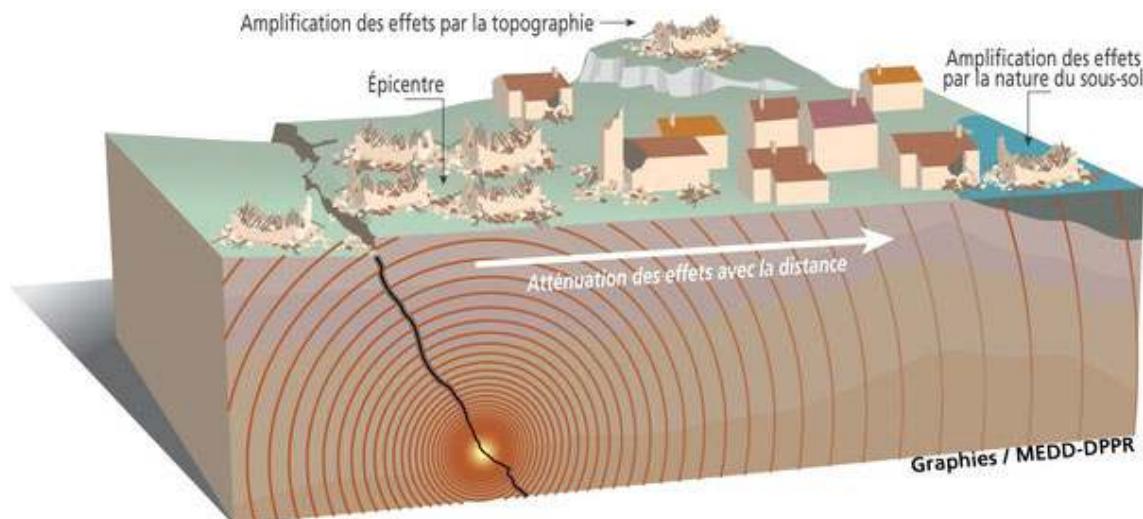


Figure II.4. Effets du site [6]

II.8. Les effets induits ou indirects

Des phénomènes naturels peuvent être provoqués ou induits par les séismes. Les vibrations du sol peuvent induire des mouvements de terrain (glissement, éboulements, rupture de surplomb rocheux), liquéfaction des sols et provoquer également des tsunamis si leur origine est sous-marine.

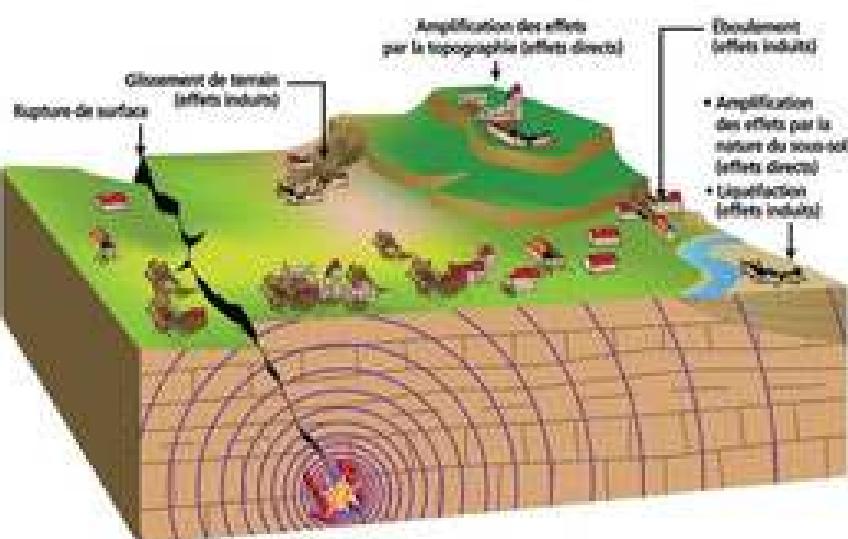


Figure II. 5. Effets directs et induits d'un séisme [3]

II.8.1. Effet induit par un séisme en mer : le raz de marée (tsunami)

Si un séisme modifie de façon importante la topographie du fond marin, un grand volume d'eau peut être déplacé brutalement. Cette vague, se propageant d'abord sur un domaine de grands fonds, a une amplitude faible, une grande longueur d'onde et une vitesse importante. En approchant des terres, la profondeur diminuant, l'amplitude de cette vague augmente : le tsunami inonde alors la plaine côtière.

Exemple des plus grands tsunamis connus d'origine sismique : tsunamis d'Indonésie en 2004 et du Japon en 2011. Ce dernier a provoqué l'accident nucléaire de la centrale de nucléaire de Fukushima Daiichi.



Figure II. 6. a) tsunamis d'Indonésie en 2004 [7], **b)** desastres causés par le tsunami [8]

II.8.2. Mouvement de terrain

Lors d'un séisme, plusieurs phénomènes peuvent se produire et contribuer au déclenchement d'une instabilité. Les effets de site, la diminution des caractéristiques mécaniques des matériaux et l'augmentation des pressions interstitielles sont les facteurs contribuent au déclenchement de mouvements de terrain [13].

Les mouvements de terrain déclenchés par les séismes peuvent avoir deux types d'effets :

- Des **effets directs**: décès consécutifs à l'ensevelissement de constructions ou à l'écrasement de véhicules par des débris de mouvements de terrain, endommagement / destruction de bâtiments, de réseaux de communication, etc.
- Des **effets indirects**: la dégradation ou l'obstruction des routes par des débris de mouvements de terrain peut gêner l'acheminement de l'aide aux victimes ou leur évacuation vers des centres de soin. Parfois les débris des mouvements de terrain viennent bloquer le lit de cours d'eau et former **des barrages naturels** [13].

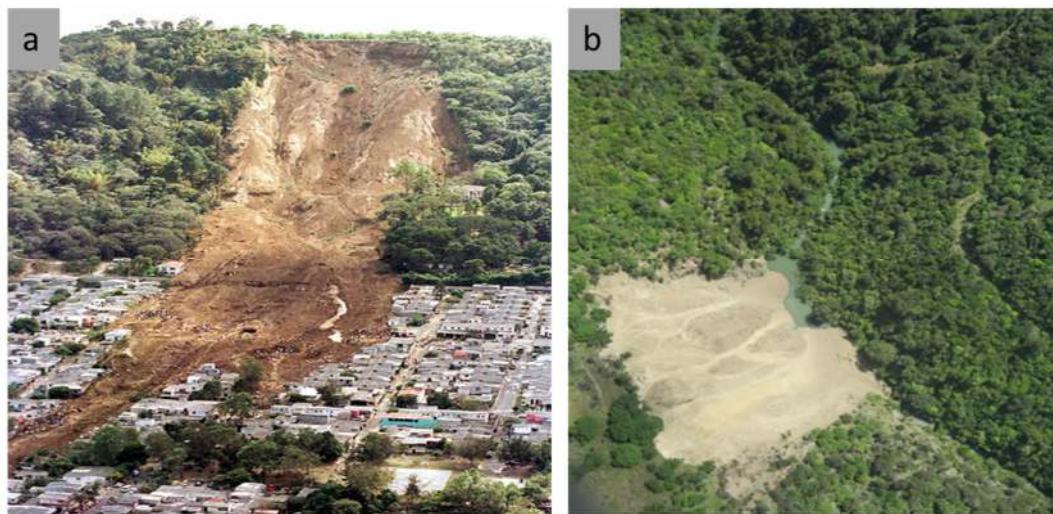


Figure II. 7. a) Mouvement de terrain déclenché par un séisme [13] b) Barrage naturel formé par un séisme [13]

II.8.3. Liquéfaction des sols

La liquéfaction des sols sous l'effet d'un **séisme** se manifeste par une perte de résistance brutale [4] causant ainsi l'enfoncement et l'effondrement des constructions, elle concerne le plus souvent les couches de sol mou à dominante sableuse (sables, limons, argiles) et saturé en eau.

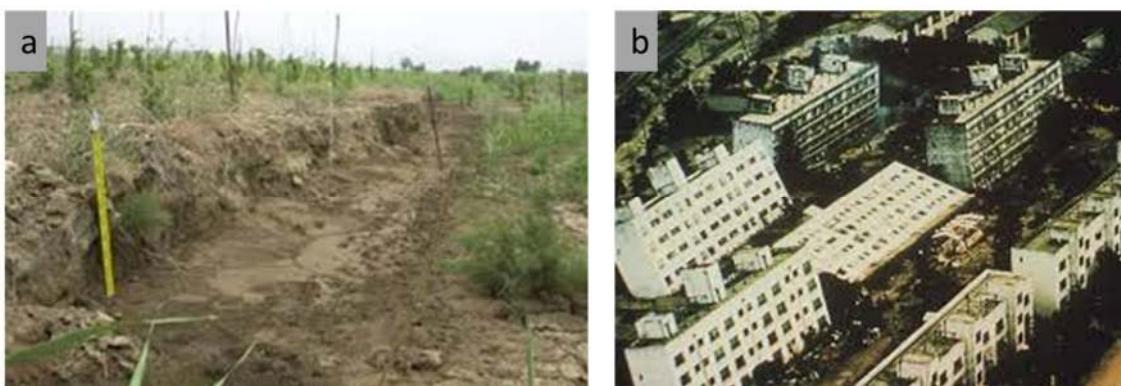


Figure II. 8. a) Sites affectés par la liquéfaction [14], b) Immeubles partiellement enfouis et ayant basculé à la faveur d'une liquéfaction du sol lors du séisme de 1964 à Niigata, au Japon [15].

II. 9. Aléa et risque sismique

- **L'aléa sismique** est la possibilité, pour un site donné, d'être exposé à des secousses telluriques de caractéristiques données (exprimées en général par des paramètres tels que l'accélération, l'intensité, le spectre de réponse...) [7].

L'aléa sismique peut être évalué par une méthode déterministe ou probabiliste ; dans le premier cas, les caractéristiques sont celle d'un évènement réel, éventuellement assortie d'une marge de sécurité (séisme le fort connu historiquement par exemple).

Dans l'approche probabiliste, l'ensemble des données permettant l'estimation de l'aléa sont examinée dans un cadre statistique, et l'aléa est alors exprimé comme une probabilité de dépasser un niveau fixé.

L'aléa sismique en un lieu donné dépend des caractéristiques de la sismicité, qui sont connues grâce à l'étude des séismes et de la géologie. Il permet d'évaluer la probabilité pour une région ou un site donné de subir un séisme et d'estimer le niveau de danger pour les populations et les infrastructures [9].

- **Le risque sismique** correspond à la probabilité de pertes humaines et de dégâts estimés en fonction de l'aléa. Dans le cas des séismes, l'aléa est difficile à définir avec précision, mais on peut agir pour diminuer son impact (éducation et information, aménagement du territoire, application de normes de construction, etc.) [10].

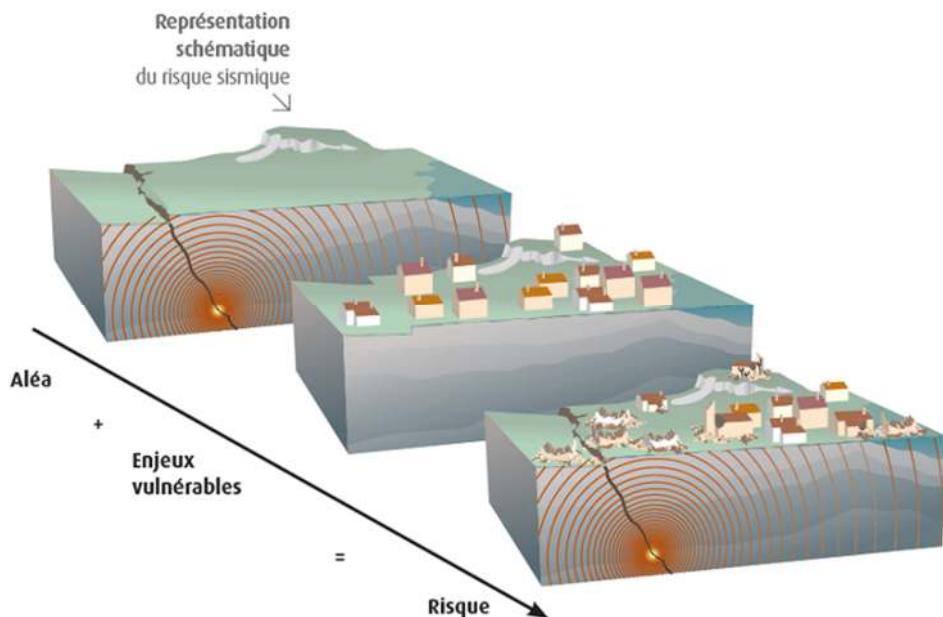


Figure II. 9. Représentation du risque sismique [11]

II.10. Zonage sismique

C'est une cartographie de l'aléa sismique proposée à partir d'une classification simplifiée de la sismicité afin de prendre les dispositions adaptées au degré d'exposition de chaque zone.

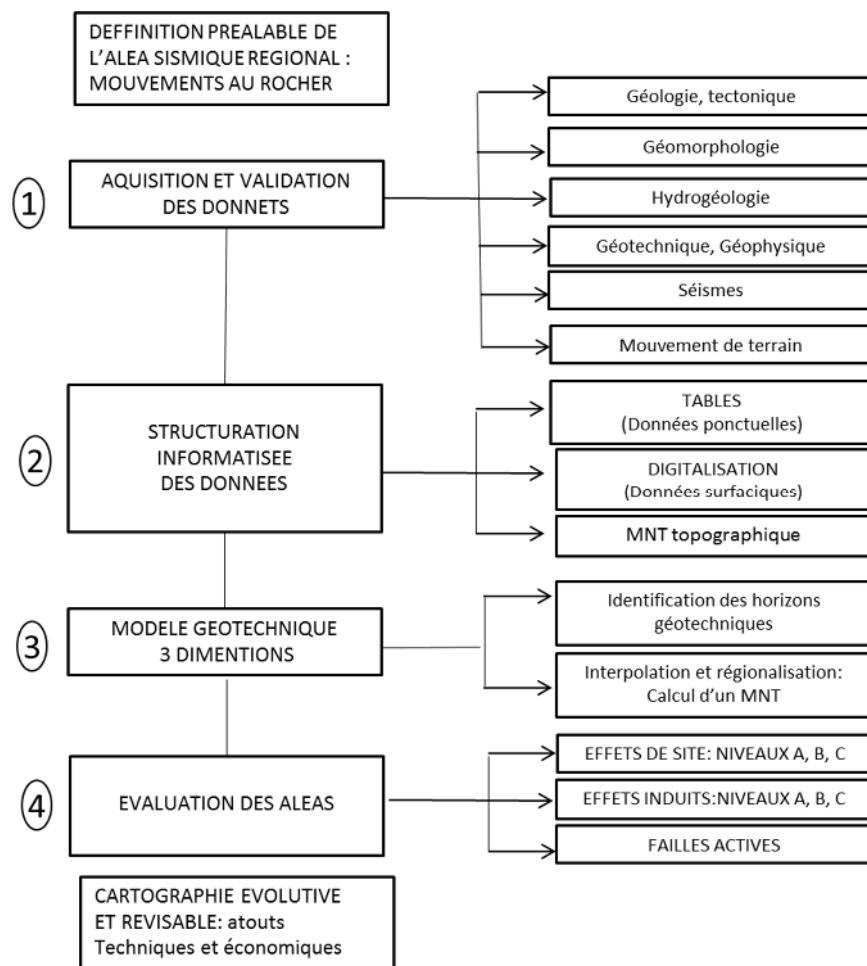


Figure II. 10. Microzonique sismique, méthodologie SIG [16]

Zonage sismique en Algérie

Le territoire national est divisé en quatre (04) zones de séismicité croissante, soit :

- ✓ Zone O : séismicité négligeable
- ✓ Zone I : séismicité faible
- ✓ Zone II : séismicité moyenne
- ✓ Zone III : séismicité élevée

II.11. Prévision

La prévision est basée sur l'évaluation de l'aléa à partir des séismicités historique et instrumentale, qui permettent de localiser les failles susceptibles de déclencher des séismes. Une cartographie de l'aléa peut être établie à l'échelle régionale à partir de :

- la localisation des failles actives qui présentent des évidences de déplacements récents et caractérisation de leur activité : récurrence, magnitude, etc. ;
- la définition des zones sismotectoniques, dans le cas où les sources sismiques ne sont pas localisées avec précisions ;
- l'évaluation de l'atténuation de l'énergie dissipée en fonction de la distance de l'épicentre, de la magnitude et des caractéristiques physiques des roches [10].

II.12. Méthodes de préventions

La prévention des séismes consiste à agir pour diminuer la vulnérabilité d'une région en fonction de la connaissance de l'aléa. Il convient en premier lieu de construire en respectant des normes parasismiques, qui tendent à diminuer les dommages aux constructions et les pertes humaines. Ces normes sont appliquées en prenant en compte de nombreux paramètres : nature du sol, environnement immédiat de la construction, forme des bâtiments, choix des systèmes et des matériaux de construction.

L'information faite aux populations et aux autorités locales des zones à risque sismique notamment à propos de l'attitude à avoir en cas de séisme est un élément important de la prévention [12].



Figure 11. Les consignes en cas de séisme [5]

Références

- [1] https://www.notre-planete.info/terre/risques_naturels/seismes/
- [2] http://observatoire-regional-risques-paca.fr/sites/default/files/biblio/5-synthese-brgm_cerege.pdf
- [3] Pourquoi et où se produisent les séismes. <http://www.ac-grenoble.fr>
- [4] JAVELAUD E, SERRATRICE J (2020) ; La liquéfaction des sols sous l'effet de séismes. Technique de l'ingénieur
- [5] Les séismes ou tremblements de terre. <http://www.irmagrenoble.com/09Seismes.pdf>
- [6] les risques majeurs. <https://www.c-prim.org>
- [7] <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSEo6HMIXHN54cS4VTfJdgWGbUweSBzh99ceg&usqp=CAU>
- [8] <https://www.linfo.re/IMG/jpg/tsunami-6.jpg>
- [9] <https://www.georisques.gouv.fr/articles-risques/aleea-et-risque-sismique>
- [10] Evaluation et gestion des risques naturels.
<https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/risques-naturels/html/1/11/113.html>
- [11] <https://www.georisques.gouv.fr/articles-risques/aleea-et-risque-sismique>
- [12] <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/risques-naturels/html/1/11/113.html>
- [13] BOURDEAU C. (2018). Les risques naturels » Pourquoi les séismes déclenchent-ils des glissements de terrain catastrophiques ?
- [14] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/42/Liquefaction_at_Niigata.JPG/220px-Liquefaction_at_Niigata.JPG
- [15] https://www.researchgate.net/profile/Kheir_Eddine_Ramdane/publication/268415124/figure/fig1/AS:669574907310099@1536650506429/Sites-affectes-par-la-liquefaction.jpg
- [16] BRGM (1996). Microzonage sismique des communes de Schoelcher, Fort-de-France et le Lamentin : effets de site et liquéfaction.