

# Les tremblements de terre

## ou comment les paysages sont bouleversés.



*Destruction partielle du port de Sendai au Japon, après le séisme majeur du 11 mars 2011. Après avoir fortement secoué même les immeubles les mieux construits, endommageant les bâtiments, le séisme a provoqué la formation d'une vague géante, ou tsunami, qui a dévasté la côte Nord Est de l'île principale du Japon, Honshu, endommageant fortement la centrale nucléaire de Fukushima. Photo US Navy.*

L'étude des séismes permet de répondre aux questions suivantes :

Qu'est-ce qu'un séisme? Quelles sont les conséquences d'un tremblement de terre? Comment expliquer le déclenchement brutal? Quel modèle acceptable pouvons-nous mettre en place afin d'expliquer l'origine? Comment les scientifiques mesurent-ils la force d'un séisme ?

Des tremblements de terre qui inquiètent, mais...

*Les séismes ou tremblements de terre, à l'instar des grands phénomènes qui affectent violemment la surface du globe, représentent aux yeux des hommes des phénomènes extraordinaires et inquiétants à la fois. Cela se conçoit très facilement parce qu'ils provoquent des destructions, des modifications radicales du paysage et des pertes de vies humaines importantes en un instant très court lorsqu'ils se produisent à proximité des villes. Ainsi, dans l'Antiquité, les colères de la terre étaient aussi celles des Dieux.*

Or, actuellement, nous en connaissons les origines et mécanismes. Les tremblements de terre doivent être étudiés avec un regard et une démarche scientifique qui permettent leur compréhension : comprendre les secousses du sol c'est tenter de les prévoir et ainsi sauver des populations humaines.

Notre globe est animé, et les séismes en illustrent le dynamisme.



## SOMMAIRE

**Des tremblements de terre qui inquiètent, mais...**

**Les manifestations d'un tremblement de terre;**

*ou comment rassembler les évènements qui se déroulent lorsque la terre tremble...*

**La signature des séismes;**

*ou comment reconnaître les traces laissées par un séisme...*

**L'origine des séismes;**

*des hypothèses à la construction d'un modèle expliquant les séismes*

**Les séismes sont la conséquence de ruptures de roche en profondeur;**

*ou comment le modèle donne une bonne image sur les étapes d'un séisme*

**Les séismes se propagent au-delà des failles;**

*les séismes sont bien plus complexes qu'une secousse*

**Les séismes sont des phénomènes mesurables par des outils:**

*les outils se perfectionnent au cours du temps pour devenir plus précis*

**Exercices**

**Glossaire**

*Novembre 1755, alors que Lisbonne se prépare à célébrer les cérémonies de la Toussaint, tôt dans la matinée, un tremblement de terre dévaste, en cinq minutes, le centre de la ville et fait 60 000 victimes.*

La [peinture de Glama](#), Lisbonne, musée d'art ancien.

# Les manifestations des séismes à la surface du globe.

Les séismes peuvent se produire dans tous les types de régions ou de paysages: forêts, déserts, fonds océaniques, mais aussi dans les villes. Bien évidemment, à cause des dommages provoqués et des victimes, l'actualité se reporte davantage sur les séismes meurtriers ayant touché des régions urbaines, très peuplées.



## Étude d'un tremblement de terre récent : Haïti, le 12 janvier 2010

Nous sommes à Port-au-Prince, qui est la capitale d'Haïti (voir carte en haut à droite), l'un des pays les plus pauvres du monde. La ville compte 2,5 millions d'habitants. Vers 16h50, la terre tremble pendant 48 secondes.

Un témoin raconte au microphone d'une grande radio: «moi, j'étais dans la rue quand ça s'est passé, j'étais dans une voiture et je rentrais chez moi. On a senti une énorme secousse, la voiture a failli chavirer et puis après elle s'est arrêtée nette. Tous les gens qui étaient à l'intérieur ont eu un gros choc. On a vu tout ce qui était tombé: les murs, les maisons, les fissures, il y a beaucoup d'accidents de voiture, beaucoup de personnes sont mortes écrasées, mais on ne sait pas combien au juste, une de mes nièces est blessée car la maison lui est tombée dessus. Il n'y a plus de moyens de communication et je ne peux pas appeler ma famille...je pense qu'il y a eu une grosse secousse et douze autres moins importantes....»

Un deuxième témoignage d'une équipe de reportage d'une chaîne de télévision précise qu'à 80 km plus à l'est de la capitale, la secousse était très faible. Ils ont constaté qu'aucune maison ne s'est effondrée, qu'aucune personne n'était blessée et que la population est restée calme.

Par la suite, le **CNRS** nous informe qu'une partie d'une gigantesque cassure du sol, nommée **faille**, passant au sud-ouest de la capitale, a surélevé le sol de 10 à 20 cm sur 50 km de long. Malgré cette longueur importante, on ne peut pas l'observer directement dans le paysage parce qu'elle se niche tout de même à une douzaine de kilomètres dans le sol d'Haïti, en dessous de la surface. D'autre part, elle est inscrite dans un réseau de fractures du sol bien plus grand.

Quelques jours après ce drame, on apprendra que la secousse principale aura détruit 1/3 de la ville, dont le palais présidentiel, les ambassades et la majeure partie des hôtels, épargnant l'aéroport.

Le mois suivant, les informations confirment l'effroyable bilan : 230 000 morts, 300 000 blessés et 1,2 million de sans-abris. L'aide de toutes les Nations contribue à la reconstruction et au sauvetage de la population sinistrée.

### Questions rapides :

Où est situé Haïti ? Que se passe-t-il lors d'un tremblement de terre ? En quoi un tremblement de terre est-il dangereux pour les populations humaines ? Combien de temps a duré la secousse ? Selon les témoignages, existe-t-il des signes qui annoncent la survenue du tremblement ?

[Haïti avant et après le séisme.](#)



Images satellites avant et après le séisme.

On constate d'importantes modifications du paysage notamment celles liées aux destructions urbaines : palais du président et rues.

Photos Google earth.



Images satellites Haïti intéressantes en raison de la localisation d'une modification majeure de la surface de la Terre : une cassure appelée faille (faille de Léogâne). Elle n'est pas observable directement au sol. Photo google Earth.

## Étude d'un tremblement de terre dans un pays développé : Kōbe, le 17 janvier 1995.

La ville de Kōbe, sur l'île d'Honshū, est le plus grand port du Japon. Elle rassemble près de 2800 personnes/km<sup>2</sup> soit 1,5 million d'habitants, voire le double si l'on compte sa périphérie. C'est dans ce contexte qu'à 5h46 la région est sérieusement secouée pendant une vingtaine de secondes. Différents récits synthétisés nous éclairent sur les conséquences du phénomène...

Lors du tremblement principal, un bruit assourdissant accompagne les sursauts du sol, qui bouge surtout de haut en bas avec des écarts de 80 cm à 1 m. En revanche les mouvements de droite à gauche sont faibles. Les témoins parlent d'une quinzaine de séismes de moindres importances faisant suite au premier tremblement. A chaque fois ce bruit, un grondement, accompagne les secousses du sol.



Les conséquences du séisme sur les constructions étaient immédiates: destruction par écoulement. En effet, les va-et-vient du sol cisailaient les fondations des maisons et des immeubles. 721667 bâtiments seront fortement endommagés, dont 181799 complètement détruits par effondrement (ci-contre, un immeuble endommagé par le séisme - [Photo Wikimedia](#)).

D'autre part, la rupture des canalisations de gaz a été à l'origine de centaines d'incendies alourdissant les dégâts, puisque les ruelles, par endroits, étaient étroites et bordées de boutiques facilitant la propagation des flammes. Habituellement efficaces, les pompiers de Kōbe n'ont pu faire face aux feux en raison du manque d'eau dû à la rupture des canalisations d'eau. L'aéroport a été endommagé, des ponts couchés au sol, les rails des trains ont été tordus, les lignes souterraines détruites, les différentes industries ont dû arrêter leurs productions.

Les études de la région de Kōbe, par les **centres d'études géologiques**, révèlent la présence d'une cassure des roches du sous-sol, ou **faille**, qui **affleure** par endroits à la surface de la Terre. On peut ainsi l'observer et l'étudier. On constate qu'elle a bougé de 50 cm vers le haut et de plus de 1 m vers l'avant. De plus, elle s'étale sur plusieurs dizaines de kilomètres, plongeant ensuite dans le sol et échappant à l'observation directe.

Le bilan humain, matériel et économique donné par le centre de prévention des catastrophes naturelles de la mairie de Shinjuku-ku, est important : 6432 morts , 43 792 blessés. On estime à 100 milliards de dollars le coût des dégâts.

Que retenir de ces deux exemples de séismes ? **Les séismes sont dangereux quand ils se produisent à proximité des villes. Ils occasionnent des destructions importantes et des victimes, mais ils modifient aussi les paysages au travers de ces dégâts et des cassures du sol nommées failles.**

### Questions rapides :

Localise sur un globe le Japon. Quelles sont les conséquences immédiates de ce tremblement de terre ? Quelles sont les manifestations communes aux tremblements de terre de Kōbe et de Haïti ? Quelle modification du sol observe-t-on après le séisme ? Schématise une faille rapidement avec un crayon. Combien de secousses compte-t-on ?

Lien: [reportage d'un journal télévisé français 36 heures après le séisme. Les valeurs n'étaient pas encore confirmées.](#)

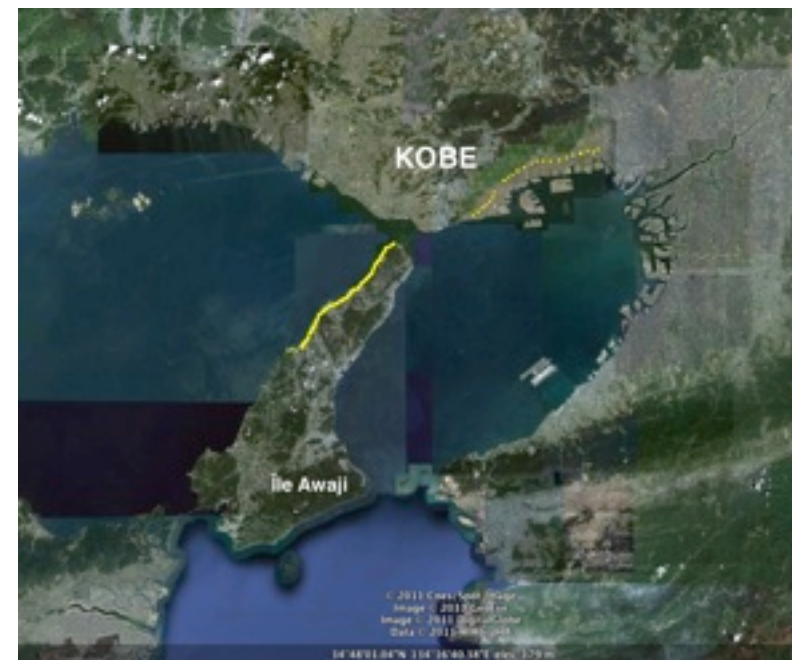


Image satellite de la région autour de Kōbe. La ligne jaune (pointillée et pleine) souligne la présence d'une faille nommée Nojima. Elle est observable directement au sol sur l'île Awaji (trait plein). Photo google Earth - la base de la photo représente environ 120 km.



Une partie de la **Faille de Nojima** est visible en surface, dans un musée, sur l'île Awaji. On voit ici le décalage des deux blocs de roche de part et d'autre de la faille, l'élévation du sol, de 50 cm, forme une «marche». La barre d'échelle représente 1 m . D'après [Photo Wikimedia/ S. Midori](#)

## La faille, indice d'un séisme.

On vient de voir qu'un séisme entraîne des modifications radicales du paysage. Malheureusement, il existe bien d'autres phénomènes naturels destructeurs, par exemple une explosion. Dès lors, comment faire pour reconnaître un séisme d'un autre sinistre? Autrement dit quelle est la signature d'un séisme ?

Pour répondre à cette question, il faut bien observer les conséquences d'un séisme et les confronter à celles d'un autre événement d'intensité globalement équivalente. On constate alors que la présence d'une cassure du sous-sol appelée **faille** est **systematiquement** et **exclusivement** présente lors d'un séisme. En revanche, d'autres critères sont souvent présents, quel que soit l'événement. Ainsi les dégâts importants, des blessés, des victimes, même un tremblement du sol ne sont pas du tout des marqueurs d'un séisme. On en conclut que **la faille seule représente une excellente signature des séismes.**



Les failles sont bien plus que de simples fissures du sol. En effet, leurs grandes dimensions dans le sens de la longueur en font des éléments majeurs dans le paysage même si elles n'affleurent pas forcément en surface. Imaginez une seule et même faille s'étalant sur plus de 20 km (*faille de El Asnam, en Algérie*) voire 1300 km comme le **groupement des failles de San Andreas en Californie** (à gauche, photo USGS). De la même manière, certaines failles plongent en profondeur sur des distances qui peuvent atteindre la dizaine de kilomètres. Imaginez donc leurs surfaces : 300 km<sup>2</sup> !

La deuxième particularité, après les dimensions, qui les différencie des fissures, est le **décalage** des blocs de roche de part et d'autre de la faille. On observe souvent une sorte de «*marche*» entre les bords de la faille. Ce décalage, bien que parfois modeste (de l'ordre du centimètre) peut atteindre plusieurs mètres (*voir la faille de Najima pour observer cette marche*). Il n'est pas toujours aisé de voir ce «*rejet*» en raison de l'**érosion**, qui peut le faire disparaître, mais parfois des indices nous renseignent : observer le décalage de lignes au sein même des blocs de roches ou encore l'écart entre deux couches de roches (*voir l'illustration ci-contre*).

Décidément, ces failles sont des **objets géologiques** bien particuliers parce que toujours associées aux séismes, mais aussi en raison de leur impact sur le paysage. «*Donnez-moi une faille et je vous dirai s'il y a eu un séisme*» pourrait bien résumer l'importance de ces **structures** en géologie.



*Petite faille dans la région PACA. Noter le décalage des couches repère de part et d'autre de la cassure. Ce n'est donc pas une simple fissure, mais bien une faille, révélée par l'écart entre les couches. On en déduit aussi quelle est liée à un ancien séisme (la faille étant ancienne...). Photo C. Monier.*

### Question d'élève: Les séismes peuvent-ils être sans danger ?

Bien sûr, c'est même le plus souvent le cas et cela pour deux raisons. La première est liée directement à leur importance (intensité). Les études montrent que les séismes violents sont exceptionnels. La deuxième raison, c'est qu'ils se localisent souvent en dehors des zones habitées. Tu peux vérifier par toi-même ces deux explications en allant sur le site [USGS](https://www.usgs.gov/). Et en observant la localisation des séismes sur le globe

### Question d'élève: pourquoi après un séisme il y en a d'autres, plus petits ?

Il faut comprendre que les bords de la faille ne sont pas lisses. Bien au contraire, ils sont rugueux, les roches ne sont pas appliquées correctement les autres contre les autres. Du coup il en résulte des instabilités, des tensions qui s'apaisent lors de petits mouvements d'ajustement de la faille. Chacun d'eux crée un séisme.

**À RETENIR:** les séismes sont des tremblements de terre localisés, brefs et parfois destructeurs. Ils peuvent modifier les paysages par les dégâts occasionnés, mais aussi par la présence d'un élément géologique majeur : une faille.

Cette faille est reconnaissable, car elle décale les terrains qui la bordent.



**Schéma d'une faille.** Notez la faille, qui décale les blocs de roche, et le rejet. Le décalage est souligné par l'écart de la couche repère. Schéma DS.

## L'origine des séismes à la surface du globe.

### Des hypothèses qui pourraient bien apporter des réponses.



Comment expliquer les tremblements de la terre ? Dans la mythologie japonaise (ci-contre, Estampe du 17<sup>e</sup> siècle - [aquablog](#)), un poisson-chat («Namazu») géant porte sur son dos l'archipel japonais, chacun de ses mouvements déclenchant des séismes (ici, la divinité Kashima pose un rocher sacré sur le poisson afin de l'immobiliser et stopper ainsi les séismes.)

De façon plus rationnelle, il semble que chacun d'entre nous ait son idée expliquant l'origine des séismes. Il devient donc intéressant de lire ces propositions d'élèves pour en savoir un peu plus sur ce que pensent les autres élèves.

**Hypothèse 1:** L'agitation des grandes villes déclenche-t-elle des tremblements de Terre ?

Les constructions d'immeubles, de ponts et grands bâtiments apportent leurs lots d'agitation. En effet, nous pourrions penser que la concentration de matériaux, d'activités, de véhicules génère suffisamment de **contraintes**, appuient sur le sol pour créer des failles et provoquer des tremblements. **Pourtant si cela est vrai alors nous devrions constater que seules les villes subissent des séismes.** Or on observe, la plupart du temps, que les séismes se produisent dans des endroits isolés, loin de toutes constructions humaines. Nombreux sont ceux qui se produisent sous les océans, pouvant parfois provoquer la formation de vagues géantes dévastatrices, les tsunamis. Dès lors, nous ne pouvons retenir les activités humaines comme responsables des séismes : **cette hypothèse est donc fausse.**

**Hypothèse 2:** La remontée de magma déclenche-t-elle des tremblements de Terre ?

Les magmas logeant dans le globe (voir le chapitre Volcanisme pour en connaître leur origine) remonteraient à la faveur de fissures et cassures parce qu'ils sont plus légers que les roches qui les contiennent. Lors de ce trajet, ils exerceraient des pressions sur les roches en appuyant sur ces dernières et finalement elles céderaient. Il en résulterait failles et séismes visibles à la surface du sol. **Pourtant, si cela était vrai, alors nous devrions constater que des émissions de laves (et/ou les volcans) et les séismes devraient être associés.** Or on observe que si c'est parfois bien le cas, ce n'est pas une généralité: les séismes se produisent aussi dans des endroits éloignés de toutes activités volcaniques. Dès lors, nous ne pouvons retenir les remontées de magma comme uniques responsables des séismes: **cette hypothèse est donc incomplète.**

**Hypothèse 3:** Des forces déclenchent-t-elles des tremblements de Terre.

Le Globe contient des roches (voir chapitre 3). Or, ces dernières appuient les unes contre les autres, certaines appuyant plus fortement. Par conséquent, nous pourrions penser que cette organisation génère des **pressions**, des **forces** qui seraient capables de déclencher des séismes et des cassures. **Si cela est vrai alors nous devrions constater que des roches qui cassent, en raison de forces, déclenchent des séismes.** Comment observer dans la nature de tels phénomènes ? C'est impossible. D'une part parce que parfois les séismes sont si violents que rester sur place serait bien trop dangereux et d'autre part les forces sont invisibles. Pour tester cette hypothèse, il faut utiliser un **modèle.**



**Le séisme du 27 mars 1964**, qui a touché l'Alaska, a été l'un des plus puissants jamais enregistré. Vous voyez ici, loin de toute ville, le paysage forestier bouleversé par les mouvements du sol. Photo Wikimedia/NOAA.



**Vue aérienne d'un paysage affecté par la faille de Denali (Canada):** Remarquer que l'illustration ne montre aucune trace de sources de chaleurs pouvant trahir la présence de magma à proximité de la faille visible en noir, telles des fumerolles, geysers, laves...(source : [USGS](#))

## Un modèle qui mime l'origine des séismes.

Comment vérifier cette hypothèse des forces générant des séismes puisqu'il semble impossible de la tester par l'observation sur le terrain ? Les scientifiques inventent et utilisent alors une sorte de **maquette** capable de reproduire les séismes si on exerce des forces : ils parlent de **modèle**. Quel modèle simple peut-on utiliser pour savoir si des forces sont capables de générer des séismes ?

Un bac à sable représentant la Terre et des mains les forces du globe...

Prenons le modèle du bac à sable (illustrations ci-contre - d'après le [Wikispace Rock Trauma Center](#)). On peut réaliser une correspondance entre les éléments du modèle et ceux que l'on voit dans la nature. Ainsi, le sable représente la roche du globe, les différentes couches font allusion aux **strates** de roches superposées. La paroi mobile actionnée par un piston correspond aux **forces** qui seraient capables de déclencher les séismes.

Ainsi, notre modèle est fin prêt à fonctionner et notre raisonnement se formule ainsi : s'il est vrai que des forces sont capables de déclencher des séismes et que notre modèle est convenable alors je devrais observer les fameuses signatures des séismes : des failles.

Le modèle mimant des séismes.

Le fonctionnement du modèle repose sur l'**action de forces** qui, via le piston, comprime ou écarte les **strates** de sables. Les résultats montrent clairement la présence de nombreuses **failles découpant et décalant les couches de sables**. Or nous savons que failles et séismes sont intimement liés, même si ici on ne peut entendre les bruits ni voir des tremblements, parce trop faibles pour être facilement observables.

Le modèle est critiquable.

Il est vrai qu'en réalité les roches ne sont pas contenues dans une boîte en bois, qu'elles sont d'une rigidité que du sable aurait bien du mal à égaler. Que dire du piston qui les a comprimées ou étirées ? Il n'existe pas, dans le globe, pareil mécanisme pour comprimer les roches. Pourtant, le modèle montre bien la formation de grandes failles. Que conclure ?

Le modèle confirme en partie l'origine des séismes.

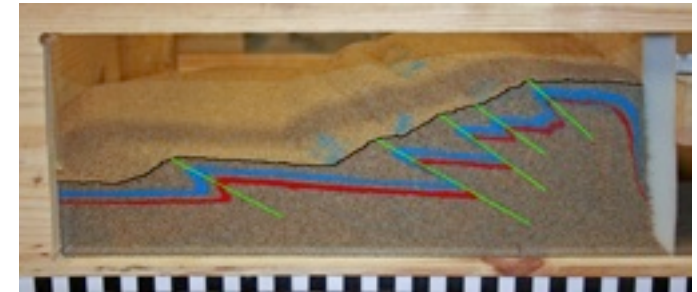
Il semble raisonnable de dire qu'en ayant conscience des points forts et des faiblesses de notre modèle (les critiques) il démontre tout de même que **les séismes résultent bel et bien de la fracture de roches, fractures dues à l'existence de forces dans le globe**. Gardons à l'esprit encore une fois que les mécanismes du modèle ne peuvent être vraiment ceux impliqués dans la réalité en raison des critiques citées précédemment.

**Questions rapides:** qu'est-ce qu'un modèle ? Quelles sont différences entre un modèle et une maquette ? Donne le principe du modèle utilisé pour mimer les séismes ? Quelles critiques peux-tu formuler sur ce modèle ? Explique en quoi le modèle proposé montre l'origine des séismes.

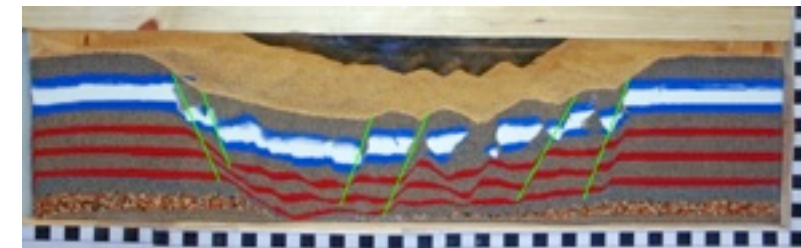
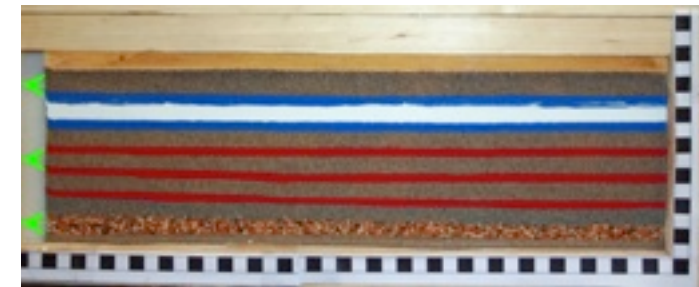
Lien : [un autre modèle](#) très critiquable mimant les séismes.



La «boîte à sable» qui représente le déclenchement des séismes. Les «roches» (sable) vont être comprimées par des forces (flèches vertes)



La compression des «roches» du modèle fait apparaître des déformations du sol et du sous-sol accompagnées de failles (lignes vertes). Cela correspond à ce qui est observé dans la réalité.



L'étirement des «roches» du modèle fait aussi apparaître des déformations du sol et du sous-sol ainsi que des failles (lignes vertes).

## Les séismes sont la conséquence d'une rupture des roches en profondeur par des forces.

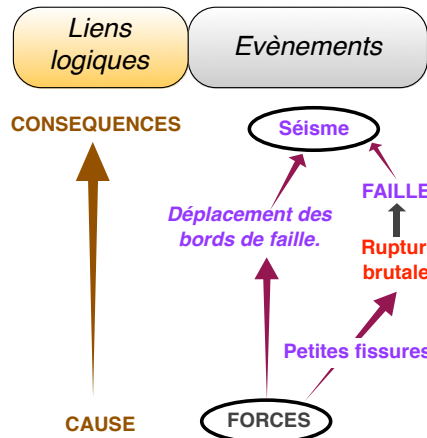
Le modèle montre que les séismes résultent de roches qui cassent brusquement. Mais comment peut-on décrire concrètement ce mécanisme quand il se déclenche dans notre terre, en dehors d'un laboratoire, et comment le définir avec plus de précision?

Des forces responsables de la faille.

Pour comprendre le déclenchement d'un séisme, il faut, d'une part, changer de taille et observer la roche à une échelle bien plus petite que le millimètre et d'autre part il faut admettre aussi que les roches du sous-sol sont en permanence soumises à des forces (leur origine sera examinée aux chapitres 3 et 4).

On peut imaginer que les roches peuvent se tordre, se plisser. Mais imaginez que peu à peu, soumises à ces forces, de petites fissures naissent au coeur même de la masse rocheuse dure, la fragilisant au fur à mesure que le temps s'écoule. Soumises sans relâche à ces mêmes contraintes, les fissures s'étalent et s'agrandissent. On comprend dès lors que la roche ne pourra pas résister éternellement et il arrive un moment où leur nombre est si grand que le bloc rocheux cède et casse brutalement. Les blocs de roches sont décalés violemment, déjetés à l'opposé le long d'une grande cassure : c'est la faille.

La faille est à l'origine du séisme.



Nous comprenons à présent pourquoi la faille est la signature du séisme. En effet, elle est le séisme, c'est justement parce que la roche casse en formant une faille que le séisme naît. Il ne faut donc pas tomber dans l'écueil qui ferait de la faille une conséquence du séisme, un évènement qui viendrait après le tremblement. En somme, ce n'est pas parce que le sol tremble que les roches cassent. C'est bien parce que les forces compriment ou écartent les roches qu'elles cèdent en formant une faille. Tout se passe comme si le séisme était la conséquence de l'apparition d'une faille et elle est bien à l'origine du séisme (schéma ci contre: **lien entre faille et séismes**. Remarquez que le séisme ne déclenche pas l'apparition d'une faille. Schéma RR d'après DS)

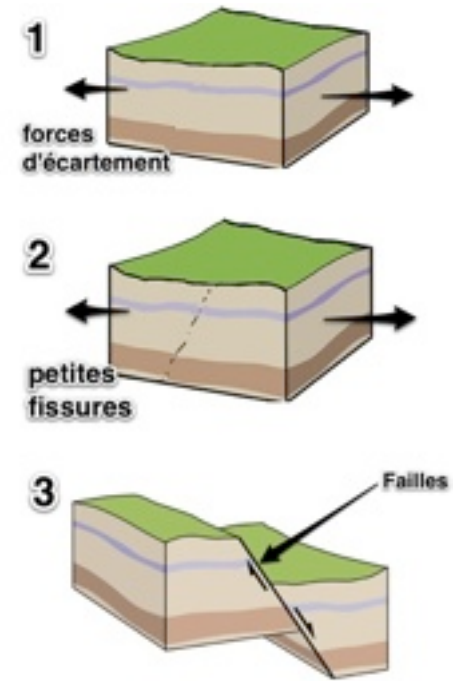
Faille et séisme sont liés par la géométrie

Les sismologues nomment le **foyer** comme étant l'endroit, sur la faille, où s'est produite la rupture de la roche. Mais s'il échappe à l'oeil du géologue, parce qu'il se trouve justement en profondeur, il permet de définir l'**épicentre** du séisme. C'est le lieu, à la surface du sol, mais directement au dessus du foyer, à sa verticale, où les dégâts sont les plus importants. Ces deux mots permettent de définir avec bien plus de précision un séisme : «*cherche l'épicentre et tu localiseras la faille*».

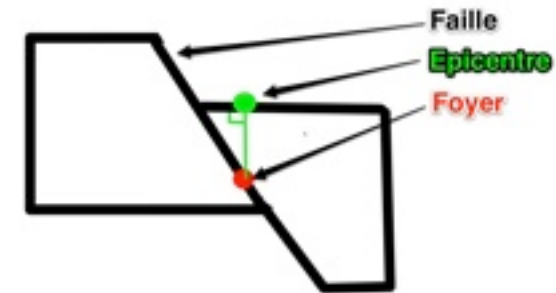
**Question d'élève:** Pourquoi les informations annoncent qu'une zone est encore dangereuse alors qu'une faille s'est déjà formée ?

Il semblerait logique qu'une fois la faille présente, le sol ne devrait plus présenter de danger sismique. Pourtant, il n'en va pas ainsi: les forces du sous-sol continuent leurs actions de part et d'autre de la faille. Par conséquent, on peut observer à nouveau un déplacement brutal des blocs rocheux, et c'est un autre séisme qui se déclenche à nouveau. Les géologues parlent de réactivation de faille. Donc plus un sol est faillé et plus le risque sismique semble élevé.

**À RETENIR:** Les roches du sous-sol sont soumises en permanence à des forces. Ces roches résistent un temps, mais si les forces dépassent la résistance des roches, on observe leur rupture brutale: c'est la faille. Une faille existante peut encore bouger et déclencher de nouveaux séismes.



**Formation d'une faille.** On peut remarquer que le procédé ressemble bien au modèle précédent. (inspiré de Wikipédia)



**Schéma montrant le lien entre foyer et épicentre.** Remarquez que les dégâts les plus importants ne sont pas sur la faille, mais à la verticale du foyer. Schéma DS.



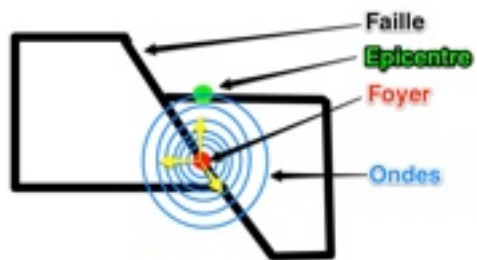
## Les tremblements de la terre se propagent au-delà de la faille.

L'étude des séismes montre que la terre tremble bien au-delà de la zone faillée. Or, si on comprend bien pourquoi les dégâts sont localisés au niveau de la faille, puisque des blocs de roches sont décalés et que toute construction s'en trouve déstabilisée, comment comprendre que des destructions importantes puissent être observées loin de la faille ?

La répartition des dégâts d'un séisme renseigne sur le pourquoi des destructions éloignées de la faille.

L'étude des séismes peut revêtir parfois l'allure d'une enquête policière. Chercher l'épicentre d'un séisme ne peut pas se faire à partir du foyer puisqu'il est en sous-sol, donc caché. Ainsi, nous devons réaliser une enquête à partir de témoignages. Nous les confrontons à un document appelé **échelle de l'intensité des séismes**. Elle mesure la force des secousses en fonction des dégâts observés: plus ils sont importants et plus l'intensité est forte. Nous sommes alors capables, à partir de ces témoignages, de construire une carte montrant les zones qui ont été abîmées de la même façon par le séisme. Or cette répartition est étonnante: les zones de même intensité s'étalent **en cercles grossiers autour de l'épicentre** (voir carte ci-contre), un peu comme le feraient les vaguelettes qui s'éloignent d'un caillou tombé dans l'eau. Bien que la comparaison s'arrête là, parce que la Terre est solide, nous pouvons tout de même avancer qu'à l'instar des vaguelettes qui soulignent la présence de vibrations, **les zones de mêmes intensités sismiques signalent le passage d'une vibration dans le sol**. Les physiciens parlent d'**ondes de séismes**, où ondes sismiques. Comment expliquer leur apparition ?

Une onde est une vibration qui provoque le tremblement de la terre



La rupture de la roche provoque une secousse qui se propage dans la roche sous la forme d'**ondes**. (schéma à g.: **étapes logiques menant aux séismes**. Notez le déplacement dans les 3 directions des ondes sismiques dans le bloc rocheux - schéma DS). La difficulté d'imaginer ces ondes vient de l'une de leurs propriétés: elles ne se voient pas quand elles se propagent dans l'épaisseur d'un matériau dur, comme de la roche, à l'inverse des liquides qui forment des vagues concentriques. Ce n'est pas parce qu'on ne les voit pas qu'elles n'existent pas: disposez des morceaux de sucre sur une table massive et bien calée

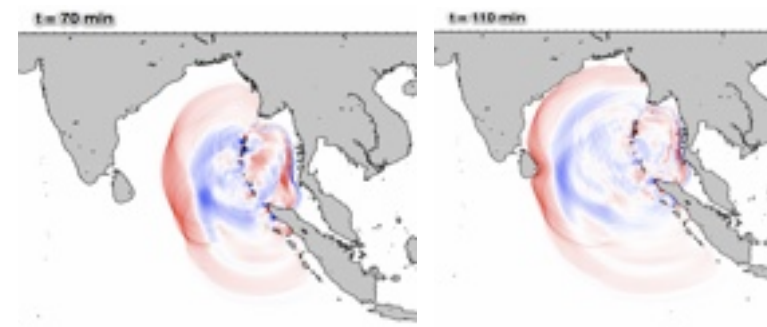
sur ses pieds. Frappez fort du poing sur la table et les carrés de sucre tombent. L'intuition aidant vous comprenez que quelque chose se déplace, du poing vers les sucres, **dans** la table: c'est justement une onde. D'autre part, l'onde se déplace **dans toutes les directions**: vers le haut, le bas et les côtés à partir de la zone qui casse, c'est à dire **du foyer du séisme**. Cette propriété de l'onde explique pourquoi les effets des tremblements de terre sont ressentis sur de larges surfaces terrestres. Pour finir, **l'intensité de l'onde diminue avec sa distance de déplacement**: plus elle s'éloigne de sa source et moins elle est forte. C'est pourquoi les dommages des séismes s'atténuent quand on s'éloigne de l'épicentre.

Questions rapides :

Comment localise-t-on un épicentre d'un séisme ? Comment expliquer que les dégâts soient disposés en cercle autour de l'épicentre d'un séisme ? Comment définir simplement une onde ? Quelle astuce réaliser pour en voir une ? Donne la suite logique des événements qui aboutissent à un tremblement du sol.



Carte montrant la répartition de l'intensité du séisme du 12/01/2010 dans la région de Port-au-Prince. Remarquez la forme concentrique que prennent les zones de même intensité. Les zones les moins touchées sont les plus éloignées de l'épicentre, noté par une étoile. (l'intensité est plus forte du rouge vers le jaune). Carte USAID.



Le séisme du 26/12/2004, sur les côtes de Thaïlande, a provoqué la formation de vagues géantes qui se déplacent comme les ondes sismiques, mais beaucoup moins vite. Leur parcours est ici reconstitué. Notez le déplacement de l'onde au cours du temps (40 min séparent ces deux vues) et sa propagation dans toutes les directions. Illustration d'après [ENS](#).

[Propagation des ondes sismiques](#) au cours d'un séisme en Chine.

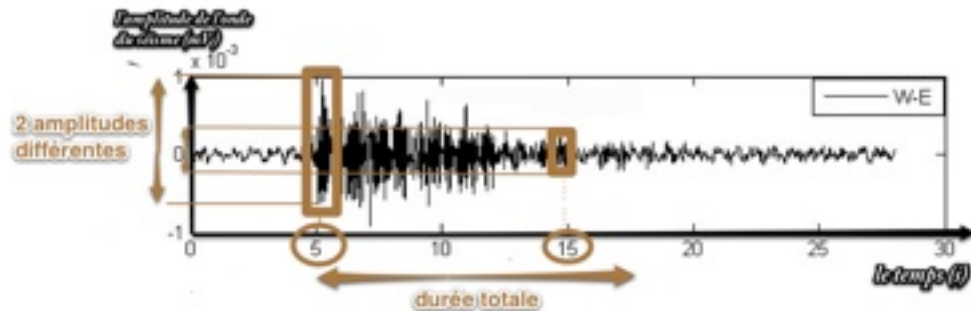
## Les ondes sismiques peuvent être enregistrées à l'aide d'un sismographe.

Les hommes, en quête de connaissance sur le monde, n'ont cessé de vouloir sonder les secousses de la Terre, leur objectif étant de mesurer avec précision à la fois les ondes si faibles qu'elles échappent aux sens des humains, mais aussi celles qui bouleversent les paysages à grande échelle. Le souci technologique principal était de conserver une trace fidèle de l'intensité du séisme alors que tout l'environnement bougeait suite aux passages successifs des ondes sismiques. **Le passage des sismographes mécaniques aux dispositifs électroniques autorisa des mesures encore plus précises.**

En l'an 132, le scientifique Chinois [Zhang Heng](#) inventa un appareil détectant la direction des mouvements du sol par la chute d'une bille percutée par un pendule contenu dans une vasque en bronze de près de deux mètres de diamètre (voir photo). Cet appareil, un «sismoscope», indiquait la présence et la direction d'une secousse, mais ne pouvait la mesurer, parce que la bille tombait de la même manière quelque soit l'intensité du séisme.

Depuis, physiciens et ingénieurs ont oeuvré pour traduire plus fidèlement les soubresauts de la terre et connaître plus fidèlement l'intensité de la secousse. **Le principe est toujours le même: les mouvements du sol, sur lequel repose l'appareil, sont transformés en un tracé écrit grâce à un stylo enregistreur qui tend à rester immobile grâce à une grosse masse qui amortit ses mouvements.**

Ces appareils, qui enregistrent les ondes sismiques, sont nommés **sismographes**, et leurs tracés des **sismogrammes** (voir schéma). Leurs dimensions et masses très imposantes au départ s'expliquent par la volonté de ne mesurer que les mouvements du sol, la masse de l'objet atténuant les vibrations parasites de l'appareil après le passage des ondes. Ils pouvaient peser près de 19 tonnes. Les véritables progrès viennent au cours du XXe siècle, lorsqu'on introduit, dans le mécanisme de l'appareil, des dispositifs électrique puis électronique. Actuellement, ces appareils, de plus en plus petits et précis, transforment les mouvements du sol en phénomènes électriques que l'on visualise sur un écran.

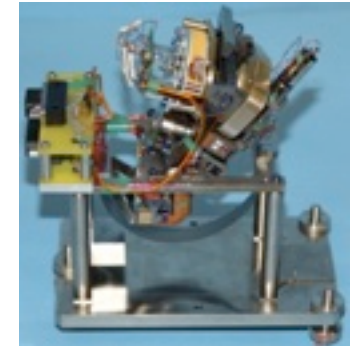
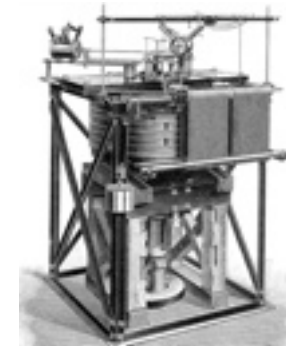


**Schéma d'un sismogramme.** Notez la correspondance entre l'amplitude des ondes sismiques et l'intensité du séisme. Ici, on voit bien qu'un séisme est une succession d'ondes, car il y a une série de «pics». (source Wikipédia).

Le sismogramme (ci-dessus) apporte des informations précieuses sur un séisme. Non seulement on en mesure la durée, mais on peut connaître aussi son intensité: plus le tracé affiche une déviation importante (amplitude) plus l'onde est puissante, et donc plus le séisme est violent, et réciproquement.



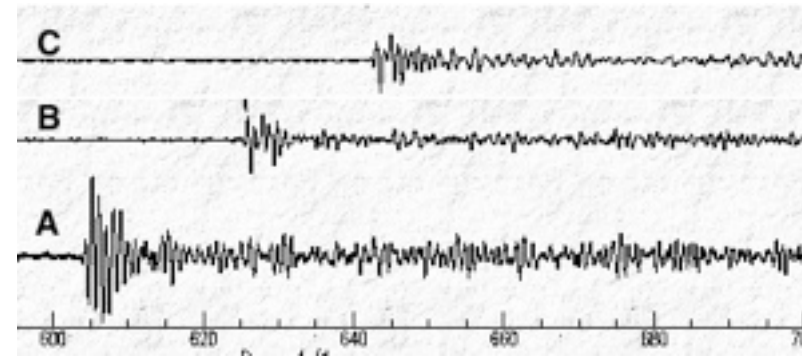
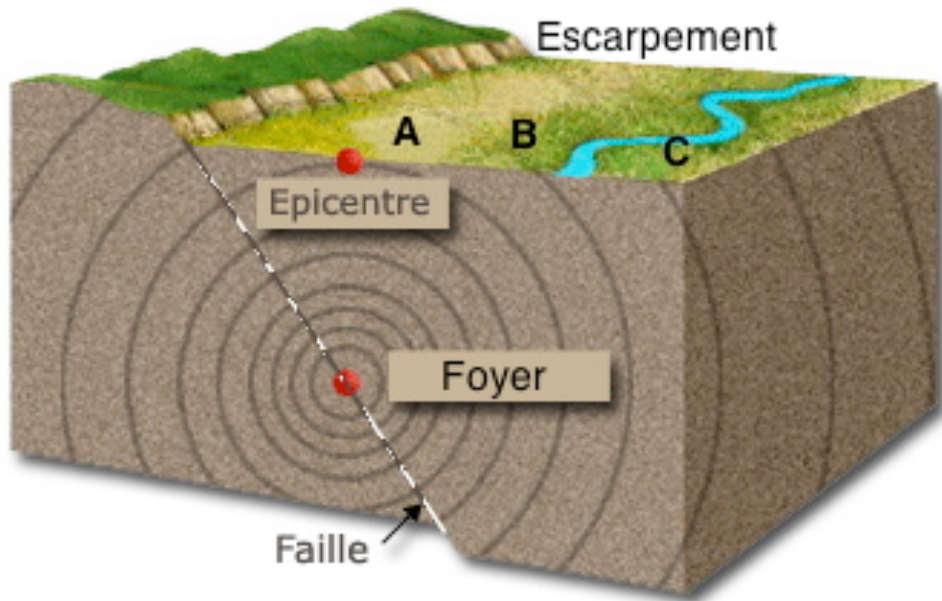
Copie moderne du sismo«scope» de Zhan Heng. Photo Wikimedia/ Shizhao



**Évolution au cours des âges d'un l'objet technologique : le sismographe.** Notez que le sismographe transforme toujours le mouvement du sol en un autre signal : la chute d'une bille, le mouvement d'un stylo (ci-dessus, à gauche, modèle de 1914) et actuellement en une variation d'un courant électrique actuel. Le sismographe de droite a été déposé sur Mars afin d'étudier l'intérieur de cette planète, et a une masse d'à peine 1 Kg. Photos [Wikimedia](#) et [CNES](#).

Liens: [fabriquer son propre sismographe](#).

[Observer le fonctionnement d'un sismographe virtuel](#)



**Liens entre les ondes sismiques et l'intensité d'un séisme.** Les ondes sismiques se propagent à partir du foyer, situé sur la faille. Les sismogrammes ci-dessus montrent l'arrivée des ondes en A, puis, un peu plus tard, en B (leur intensité a diminué) puis en C, plus tard encore, avec une intensité plus faible. Schéma RR d'après DS/ Wikimedia/ Lorangeo.

#### À RETENIR:

Les roches du sous-sol sont soumises en permanence à des forces. Les roches résistent, mais si les forces dépassent leur résistance, elles cassent, et une faille se forme et la roche se déplace, ou bien la roche se déplace sur une ancienne faille. Cette cassure et ce déplacement, partant d'un foyer, créent des ondes sismiques qui se propagent dans toutes les directions et font trembler la surface lorsqu'elles l'atteignent (le point de la surface le plus proche du foyer est l'épicentre). Ces ondes sont enregistrées par des sismographes.

**Question d'élève:** Peut-on prendre notre voiture pour fuir les ondes des séismes ?

À vrai dire non ! Ce n'est pas possible. La vitesse des ondes sismiques dépend entre autre de la composition du matériau dans lequel elles se propagent. Ainsi, dans l'air elles circulent à 1200 km.h<sup>-1</sup>, dans l'eau de mer elles atteignent 5400 km.h<sup>-1</sup> et dans un solide, comme une roche (granite), elles fusent à 18 000 km.h<sup>-1</sup>. Ainsi, plus le matériel est compact et plus les ondes vont vite. Mais dans tous les cas les vitesses de leur déplacement sont trop importantes pour que l'on puisse les fuir.

Liens: Le tremblement de Terre de San Francisco en 1989: [images et témoignages](#)

Illustration du [mouvement d'une faille](#).

11 Mars 2011: un des plus puissants séismes jamais observés provoque la formation d'un [tsunami qui déferle](#) sur la cote est du Japon. [Chronologie](#) (en français canadien)

#### Les modèles en sciences

En sciences, un modèle est une description simplifiée d'un phénomène. Ce modèle peut être théorique (sous forme de calculs) ou pratique (utilisant des machines, simples ou complexes), ou même parfois mélanger un peu les deux. Une particularité d'un modèle est que l'on peut agir dessus, réaliser des expériences avec lui pour en tester la validité (décrit-il bien ce que l'on observe ? Permet-il de faire des prévisions ?) et les limites (pour jouer au foot, on peut considérer que la Terre est plate, mais pour tracer des cartes de géographie, on doit bien changer de modèle et prendre en compte sa forme sphérique...).

**Exemple:** Le Pr Cooke-Andresen réalise un modèle de la faille de San Andreas: voyez comment, avec son étudiante, elle reproduit la géométrie de la faille (avec une planche de même forme), «modélise» les roches par de l'argile, et accélère leur déplacement, afin de prévoir les régions qui, fortement déformées, sont celles où de nouvelles failles, et donc des séismes, peuvent se former.