

IL ÉTAIT UNE FOIS ... LES SÉISMES !

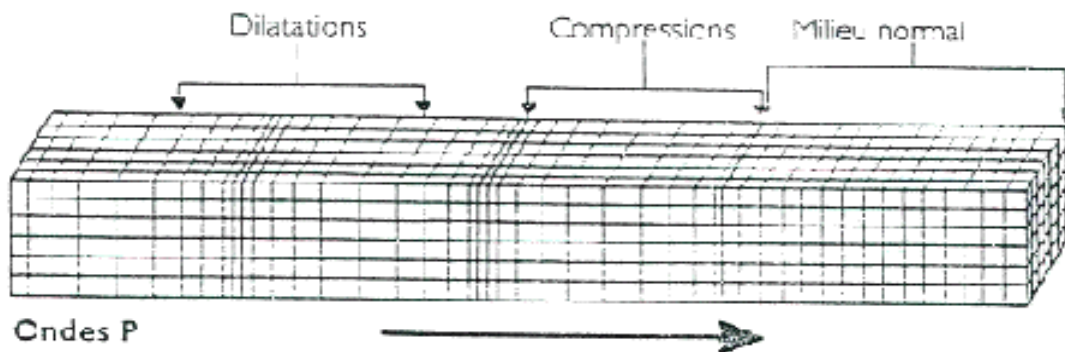
NOTIONS GÉNÉRALES.

Quand on lit les rapports des observatoires volcanologiques, on remarque qu'il est souvent fait état de séismes **tectoniques** et d'événements **volcano-tectoniques**. Comme leur nom l'indique, les premiers concernent uniquement la structure interne de la Terre tandis que les seconds impliquent l'activité volcanique. Dans les deux cas, l'analyse des signaux sismiques prend en compte le déplacement des **ondes**.

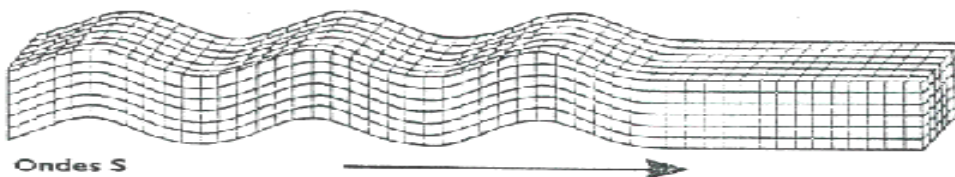
On distingue deux types d'ondes : **les ondes de volume** qui traversent la Terre et **les ondes de surface** qui se propagent parallèlement à sa surface. Elles se succèdent et se superposent sur les enregistrements des sismomètres.

1) **Les ondes de volume** se propagent à l'intérieur du globe. Leur vitesse de propagation dépend du matériau traversé et d'une manière générale elle augmente avec la profondeur. On en distingue deux sortes :

- **Les ondes P ou ondes primaires** sont aussi appelées ondes de compression ou ondes longitudinales. Le déplacement du sol qui accompagne leur passage se fait par dilatation et compression successives, parallèlement à la direction de propagation de l'onde. Ce sont les plus rapides (6 km.s⁻¹ près de la surface) et elles sont enregistrées en premier sur les sismogrammes, d'où leur nom. Elles sont responsables du grondement sourd que l'on peut entendre au début d'un tremblement de terre.



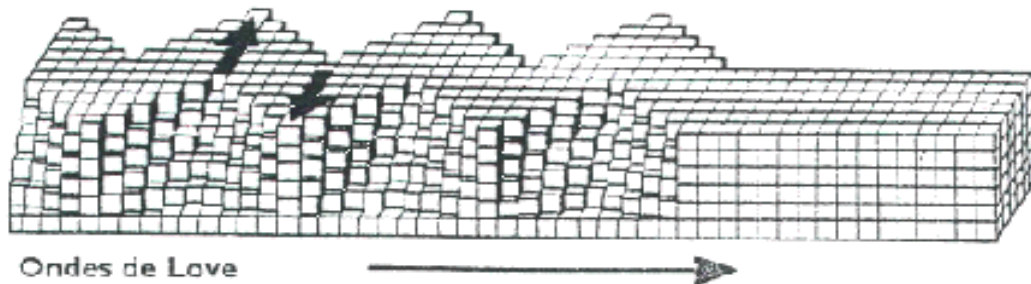
- **Les ondes S ou ondes secondaires** appelées aussi ondes de cisaillement ou ondes transversales. Sous leur effet, les mouvements du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde. Ces ondes ne se propagent pas dans les milieux liquides, elles sont en particulier arrêtées par le noyau de la Terre. Leur vitesse est plus lente que celle des ondes P, elles apparaissent en second sur les sismogrammes.



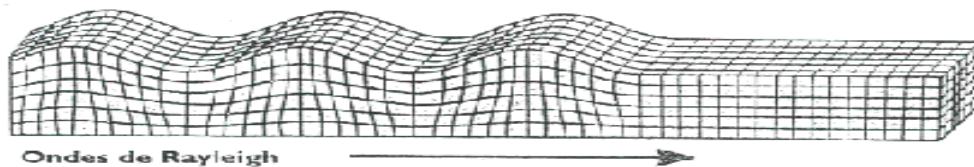
La différence des temps d'arrivée des ondes P et S suffit, connaissant leur vitesse, à donner une indication sur l'éloignement du séisme.

2) **Les ondes de surface** 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. On en distingue là aussi deux sortes :

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

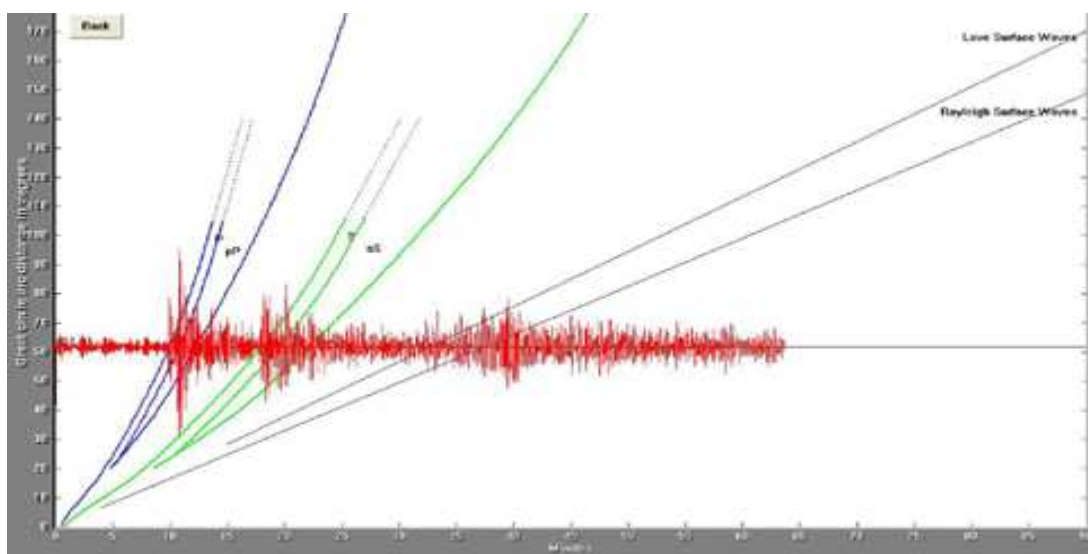


- **Les ondes de Rayleigh** : leur déplacement est complexe, assez semblable à celui d'une poussière portée par une vague, un mouvement à la fois horizontal et vertical, elliptique, en fait.



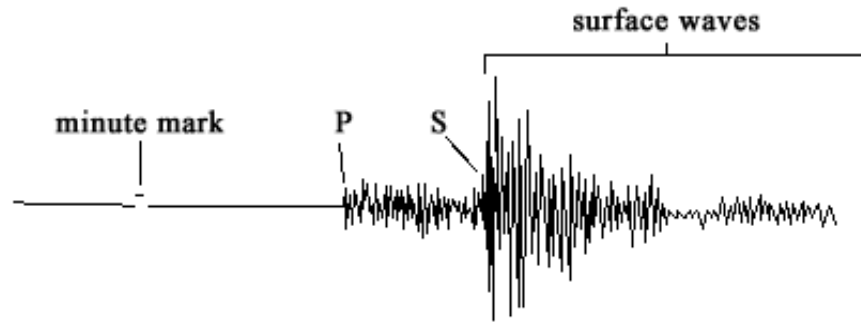
Les ondes de Love se propagent à environ 4 km/s, elles sont plus rapides que les ondes de Rayleigh.

+++++



Sismogramme d'un séisme en Equateur le 12 août 2010-10-23
[Les ondes P sont indiquées en bleu, les ondes S en vert, les ondes de surface en noir]

COMMENT INTERPRÉTER UN SISMOGRAMME ?



Sur le sismogramme ci-dessus, on voit parfaitement les *ondes primaires* (P) qui sont les plus rapides, donc les premières à apparaître. Elles sont suivies des *ondes secondaires* (S), plus grandes en taille que les primaires.

Si les ondes secondaires n'apparaissent pas sur le sismogramme, cela signifie probablement que le séisme s'est produit de l'autre côté de notre planète. Comme les ondes S ne peuvent traverser les couches liquides de la Terre, elles n'ont pas pu atteindre le sismographe.

Les *ondes de surface* (ondes de Love et de Rayleigh) sont les suivantes sur le sismogramme. Leur fréquence est plus faible, ce qui signifie que les ondes (les lignes verticales de leur tracé) sont plus étalées.

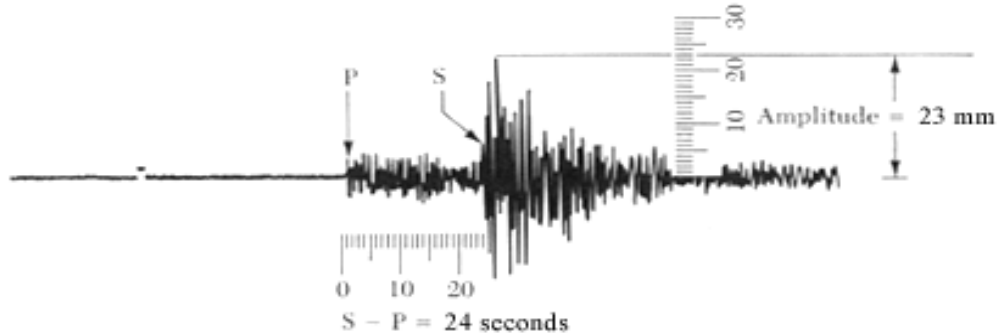
Les ondes de surface se déplacent un peu plus lentement que les ondes S (elles-mêmes plus lentes que les ondes P) ; c'est pourquoi elles ont tendance à atteindre le sismographe juste après les ondes S. Lorsque les séismes se produisent à faible profondeur, les ondes de surface peuvent être les plus grandes enregistrées par le sismographe. D'autre part, ce sont souvent les seules ondes enregistrées à une longue distance quand se produit un séisme d'intensité moyenne.

+++++

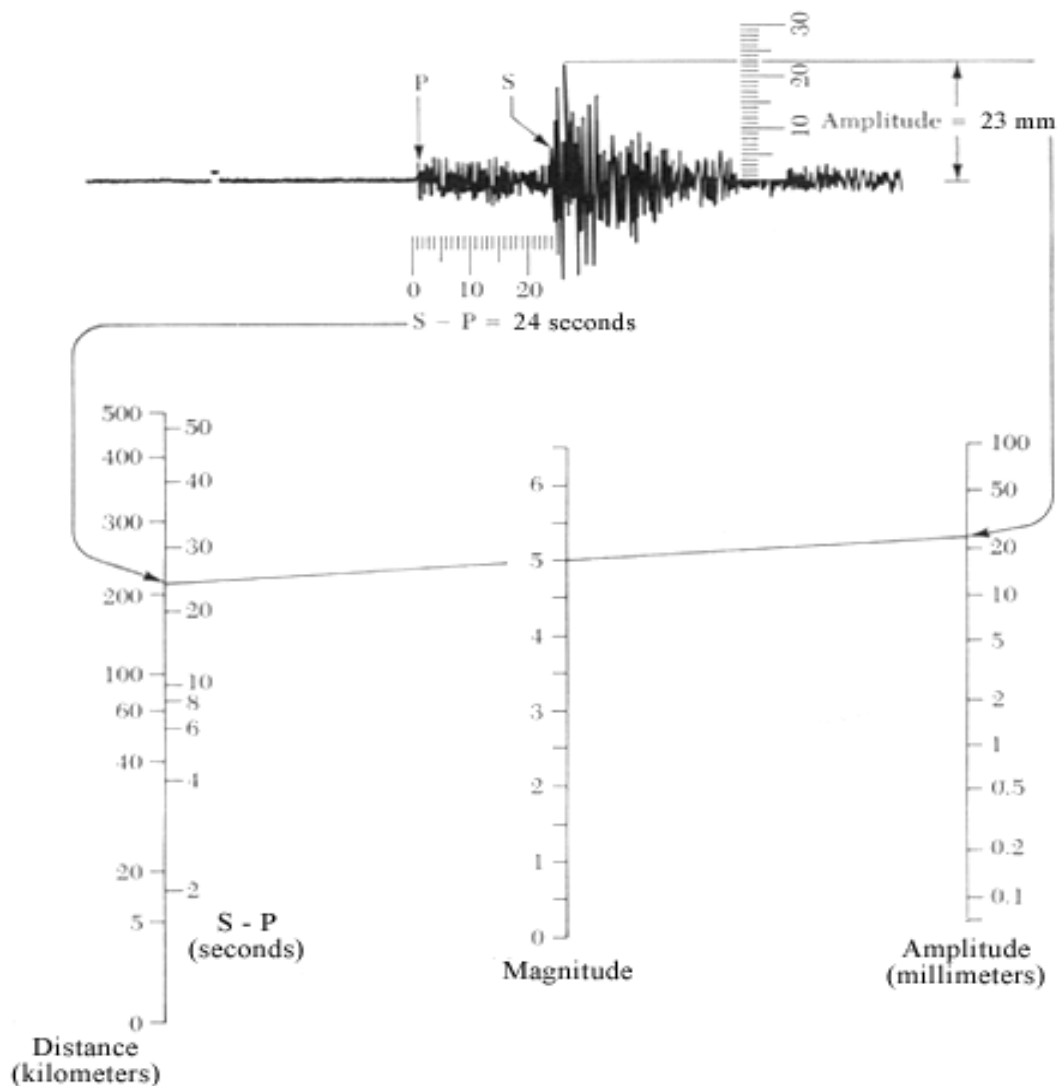
LOCALISATION DE L'ÉPICENTRE D'UN SÉISME. ET DÉTERMINATION DE SA MAGNITUDE.

Il faut tout d'abord savoir que **trois sismographes au moins sont nécessaires** pour effectuer ces calculs.

Reprenons le tracé sismique ci-dessus et complétons-le avec quelques données supplémentaires :

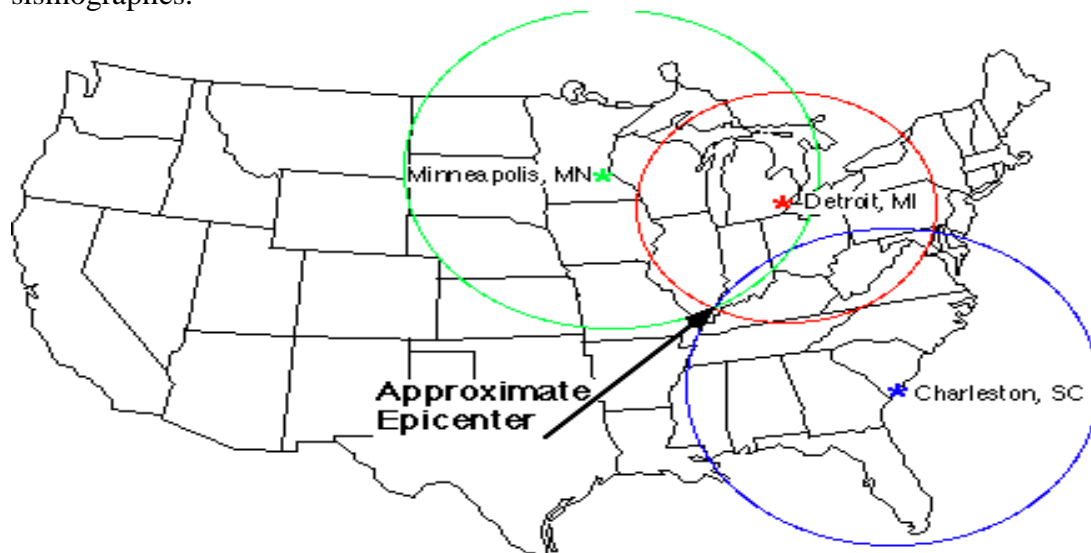


Des intervalles d'une minute sont symbolisés par les petites lignes que l'on peut voir au-dessus ou au-dessous (selon les sismographes) des ondes sismiques. La distance entre le début de la première onde P et de la première onde S indique le nombre de secondes qui les sépare (24 secondes pour le tracé ci-dessus). C'est ce nombre que l'on va ensuite utiliser pour savoir à quelle distance de l'épicentre du séisme se trouve le sismographe.



- 1) Comme nous l'avons vu précédemment, on commence par mesurer la distance entre la première onde P et la première onde S, séparées par 24 secondes dans le cas présent.
- 2) On pointe ces 24 secondes dans la colonne de gauche du tableau de référence sous le sismogramme. On s'aperçoit alors que *l'épicentre du séisme se trouve à une distance de 215 kilomètres*.
- 3) On mesure ensuite l'amplitude (la hauteur sur le papier) de l'onde la plus forte. Dans notre cas, elle est de 23 millimètres. On reporte ces 23 mm dans la colonne de droite du tableau de référence.
- 4) A l'aide d'une règle, on relie le point de la colonne de gauche (distance) et celui que l'on vient de marquer dans la colonne de droite (amplitude) du tableau de référence. Le point où cette ligne traverse la colonne du milieu indique la magnitude (c'est-à-dire la force) du séisme. Dans le cas présent, *le séisme avait une magnitude de 5*.

Une fois que l'on a déterminé la distance et la magnitude du séisme, il s'agit de le localiser. Il faut alors se munir d'une carte, d'un compas et des données fournies par deux autres sismographes.



- 1) Il faut tout d'abord repérer l'échelle de la carte. Par exemple, une échelle de 1/100 000ème signifie que 1 cm sur la carte correspond à 1 km sur le terrain. Sur une carte au 1/10 000 000ème, 1 cm représente 100 km, etc.
- 2) On va maintenant pouvoir noter sur la carte à quelle distance de l'épicentre nous nous trouvons. Si notre carte est au 1/10 000 000ème, les 215 km se traduiront par 2,15 cm.
- 3) A l'aide d'un compas, on trace un cercle dont le rayon aura la dimension trouvée dans l'étape précédente. Le centre du cercle sera l'endroit où se trouve le sismographe. L'épicentre du séisme sera quelque part sur le cercle que l'on vient de tracer.
- 4) On procédera de la même façon avec les données qui auront été communiquées pour les autres sismographes (2 au minimum !). Les centres des cercles correspondront à l'emplacement des appareils. Le point de chevauchement commun à tous les cercles indique approximativement l'épicentre du séisme.

+++++

LES ECHELLES SISMIQUES.

- ***L'échelle (ouverte) de Richter :***

Elle a été créée en 1935 par Charles Francis Richter et Beno Gutenberg, deux membres du California Institute of Technology. C'est une échelle logarithmique : les ondes sismiques d'un séisme de magnitude 6 ont une amplitude dix fois plus grande que celles d'un séisme de magnitude 5 et le séisme de magnitude 6 libère environ trente et une fois plus d'énergie. L'échelle est ouverte et sans limite supérieure connue. Dans la pratique, les séismes de magnitude 9 sont exceptionnels et les effets des magnitudes supérieures ne sont plus décrits séparément. Le séisme le plus fort jamais mesuré atteignait la valeur de 9,5, le 22 mai 1960 au Chili.

Moins de 2: Secousse très faible, non ressentie par la population.

De 2 à 2,9: Secousse généralement non ressentie, mais détectée par les sismographes.

De 3 à 3,9: Événement souvent ressenti, mais causant très peu de dommages.

De 4 à 4,9: Objets secoués à l'intérieur des maisons, bruits de chocs, dommages importants.

De 5 à 5,9: Dommages majeurs à des édifices mal conçus dans des zones meubles. Légers dommages aux édifices bien construits.

De 6 à 6,9: Destructeur dans des zones jusqu'à 180 kilomètres de l'épicentre.

De 7 à 7,9: Dommages sévères dans des zones plus vastes.

De 8 à 8,9: Dommages sérieux dans des zones à des centaines de kilomètres de l'épicentre.

- ***L'échelle de Mercalli :***

Elle fut créée en 1902 par le volcanologue Giuseppe Mercalli. Elle fut largement utilisée avant la création de l'échelle de Richter en 1935. Elle mesure l'intensité des secousses ressenties et les dégâts produits à la surface de la terre, avec une graduation allant de I à XII.

I : Aucun mouvement n'est perçu et l'homme ne ressent rien.

II : Quelques personnes peuvent sentir un mouvement si elles sont au repos et/ou dans les étages élevés de grands immeubles.

III : À l'intérieur des maisons, beaucoup de gens sentent un léger mouvement. Les objets suspendus bougent. En revanche, à l'extérieur, rien n'est ressenti.

IV : À l'intérieur, la plupart des gens ressentent un mouvement. Les objets suspendus bougent. Il y a vibration des fenêtres et de la vaisselle dans les placards.

V : La plupart des gens ressent le mouvement. Les personnes qui sommeillent sont réveillées. Les portes claquent, la vaisselle se casse, les tableaux bougent, les petits objets se déplacent, les liquides peuvent déborder de récipients ouverts.

VI : Tout le monde ressent le tremblement de terre. Les gens ont la marche troublée, les objets et tableaux tombent, le plâtre des murs peut se fendre, les arbres sont secoués. Des dommages légers peuvent se produire dans des bâtiments mal construits, mais aucun dommage structural.

VII : Les gens ont du mal à tenir debout. Les conducteurs sentent leur voiture secouée. Quelques meubles peuvent se briser. Des briques peuvent tomber des immeubles. Les dommages sont modérés dans les bâtiments bien construits, mais peuvent être considérables dans les autres.

VIII : Les chauffeurs ont du mal à conduire. Les maisons avec de faibles fondations bougent. De grandes structures telles que des cheminées ou des immeubles, peuvent se tordre et se briser. Les bâtiments bien construits subissent de légers dommages, contrairement aux autres qui en subissent de sévères. Les branches des arbres se cassent. Les collines peuvent se fissurer si la terre est humide. Le niveau de l'eau dans les puits peut changer.

IX : Tous les immeubles subissent de gros dommages. Les maisons sans fondations se déplacent. Quelques conduits souterrains se brisent. La terre se fissure.

X : La plupart des bâtiments et leurs fondations sont détruits. Il en est de même pour quelques ponts. Des barrages sont sérieusement endommagés. Des éboulements se produisent. L'eau est détournée de son lit. De larges fissures apparaissent sur le sol. Les rails de chemin de fer se courbent.

XI : La plupart des constructions s'effondrent. Des ponts sont détruits. Les conduits souterrains sont détruits.



Route endommagée par un séisme de M 4,3 sur les pentes de l'Etna

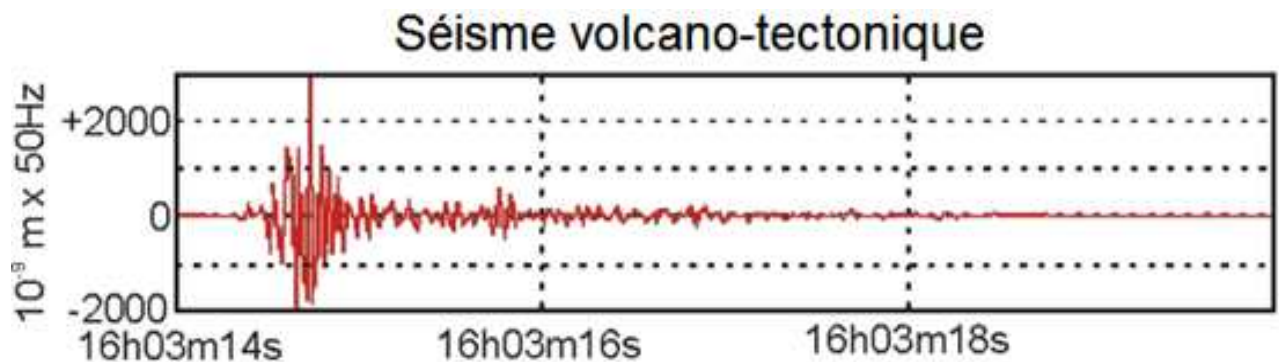
+++++

LES SEISMES VOLCANIQUES :

Il existe deux types de séismes volcaniques: les séismes dus à la fracturation de la roche par le magma (**volcano-tectoniques**) et les **tremors harmoniques** qui sont en général le dernier avertissement avant l'éruption.

L'analyse de ces signaux est particulièrement importante pour essayer de prévoir l'éruption d'un volcan, tout en sachant que nous sommes encore incapables de dire quand et où l'éruption aura lieu.

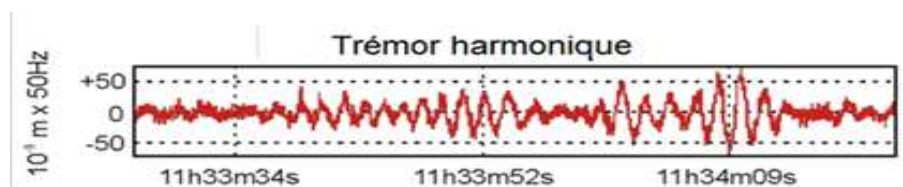
1) *Séisme volcano-tectonique :*



Un séisme volcano-tectonique est provoqué par la fracturation de la roche par le magma. A première vue, son tracé ressemble à celui examiné dans la partie consacrée aux séismes tectoniques. Toutefois, en y regardant mieux, la structure de ce séisme est très différente du séisme tectonique: les ondes n'ont pas de début brutal et on ne distingue pas d'ondes S et P. Les séismes volcano-tectoniques ont en général une faible magnitude (ils dépassent rarement la magnitude 3) et ont une portée bien moindre que les séismes tectoniques.

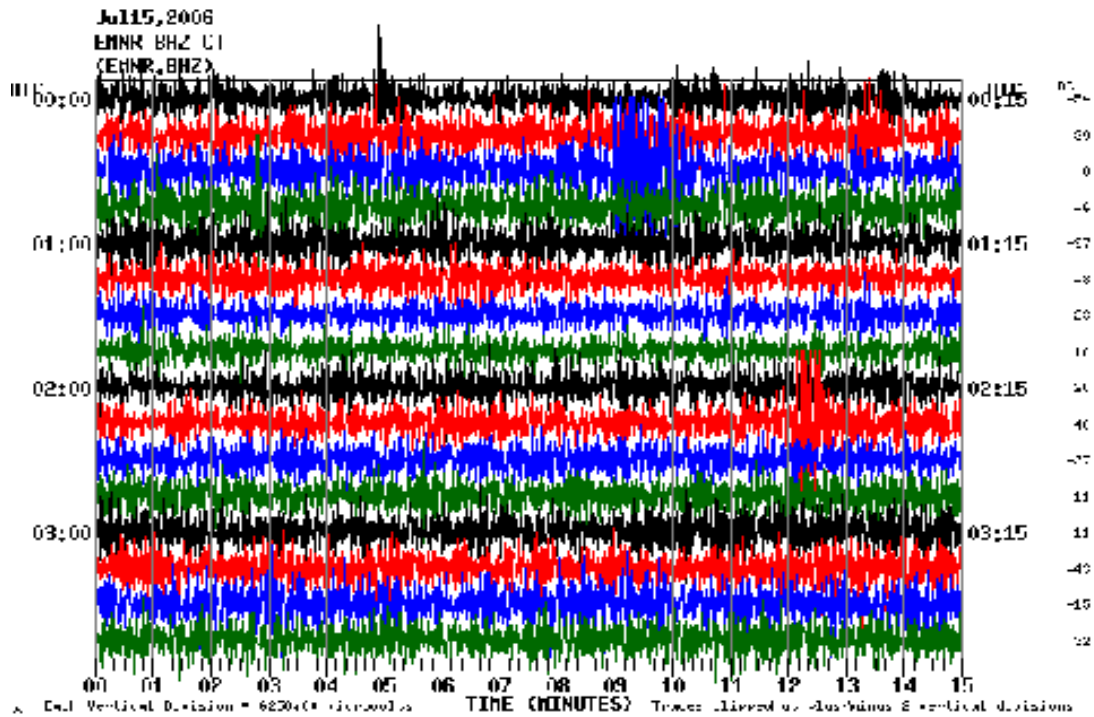
Les séismes volcano-tectoniques à répétition annoncent souvent une éruption et poussent les autorités à prendre des mesures d'évacuation, tandis que le niveau d'alerte est élevé. Une éruption est encore plus évidente si une inflation de l'édifice volcanique est détectée dans le même temps.

2) *Tremor harmonique :*



Le tremor harmonique annonce la remontée du magma et donc une éruption imminente. Un tremblement harmonique peut durer de quelques minutes à quelques jours. La fréquence d'un tremor varie entre 1 et 5 Hz.

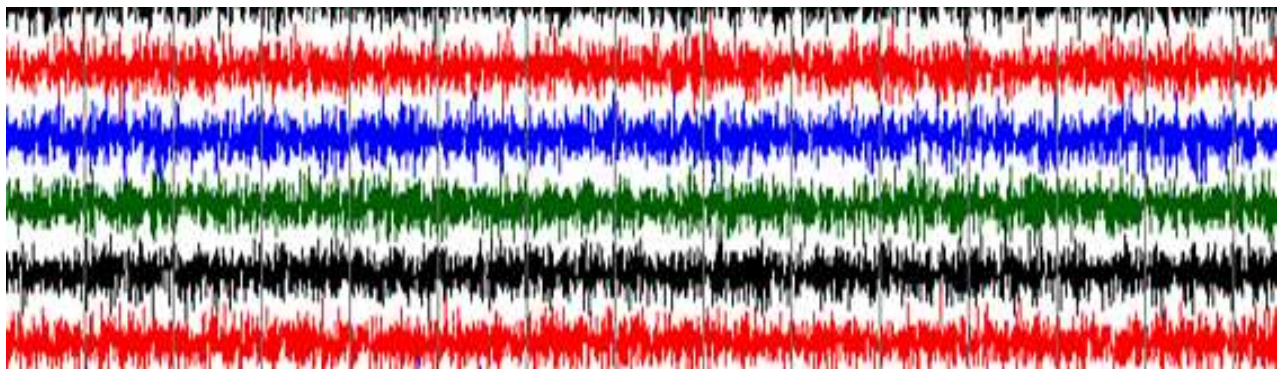
La présence de tremblements harmoniques sur les sismogrammes d'un volcan provoque une élévation maximale du niveau d'alerte et, si nécessaire, une évacuation de toute la population environnante.



Exemple de tremor harmonique lors de l'éruption de l'Etna en juillet 2006

+++++

Remarque : Il arrive que des vibrations parasites viennent perturber le signal sismique ! Elles peuvent être dues à de mauvaises conditions climatiques (vent, mouvements de la mer) ou à des activités humaines (le trafic routier apparaît nettement sur les sismomètres de Yellowstone pendant la journée !). Ce phénomène n'est pas surprenant car les sismomètres sont des instruments extrêmement sensibles. Le plus souvent, ce type de signature sismique ne pose guère de problèmes d'identification même si certains enregistrements peuvent être confondus avec des séismes volcaniques. Voici un exemple de vibrations parasites provoquées par le vent :



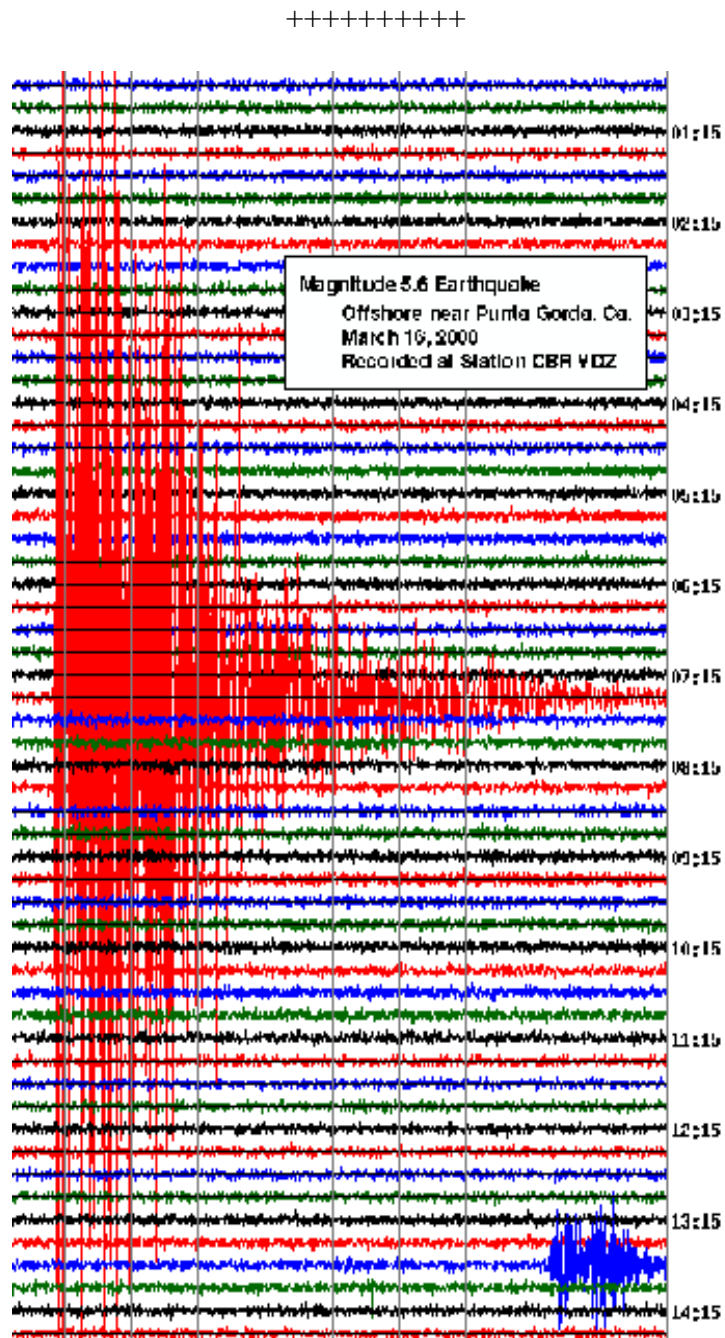
Ces vibrations sont de très faible amplitude et continues. Le problème est qu'elles peuvent être confondues avec des séismes volcaniques dus à une remontée magmatique, d'où la nécessité de scientifiques compétents pour faire la distinction entre des bruits parasites et les véritables séismes volcaniques.

+++++

LES SÉISMES SUR INTERNET.

Voici quelques sites où l'on peut trouver des renseignements intéressants sur l'activité sismique dans le monde :

- Le Réseau National de Surveillance Sismique (RéNaSS) : <http://renass.u-strasbg.fr/>
- USGS : <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>
- The Pacific Northwest Seismic Network (PNSN):
http://www.pnsn.org/INFO_GENERAL/volcanoes.html
- Azurséisme: <http://www.azurseisme.com/>



Séisme de M 5,6 le 16 mars 2000, au large de la côte californienne