

**ACT DOC 3 : LES ONDES SISMIQUES**

Comment les géophysiciens déterminent-ils les caractéristiques d'un séisme, comme celui qui a secoué le Japon en mars 2011 par exemple ?

**1. Documents**

**Un géophysicien raconte le séisme de Sendai au large de l'île d'Honshu (Japon)**

« Le 11 mars vers 14 h 50 heure de Tokyo, nos travaux ont été interrompus par les premières arrivées (ondes P, mouvements verticaux) d'un gros séisme. [...] L'arrivée brutale des ondes secondaires de cisaillement (ondes S) m'a vite convaincu qu'il fallait sortir rapidement du bâtiment. [...] [Quelques minutes plus tard], les sismologues japonais faisaient déjà parvenir par Internet la localisation de l'épicentre du séisme à 130 km au large de la ville de Sendai, qui est à 350 km au nord de Tokyo. Ils précisaient par une première série d'estimations que la magnitude devait être de 7,8, ce

qui m'a semblé sous-estimé d'après mon expérience de Sumatra, que la profondeur du séisme devait se situer à une vingtaine de km, et qu'un tsunami de l'ordre de 3 m était prévisible [...]. [Une heure trente plus tard,] j'ai regardé le site de l'USGS (US Geological Survey), qui donnait une magnitude de 8,9 au lieu de 7,8, ce qui correspond à une énergie libérée plus de 30 fois supérieure à celle initialement estimée. »

Extrait du récit du géophysicien Jean-Claude Sibuet publié le 14 mars 2011 par Sylvestre Huet, journaliste à *Libération*, sur son blog.

**1. L'enregistrement du séisme**

La date, la localisation et la magnitude d'un séisme sont calculables dès lors que le décalage temporel entre l'arrivée des différents types d'ondes et l'amplitude des secousses engendrées sont connus en au moins trois points du globe. La précision augmente avec le nombre de points utilisés.

Les sismomètres des stations de détection réparties à travers le monde enregistrent les vibrations du sol à l'aide de capteurs très sensibles, qui transforment les déplacements du sol en signaux électriques.

Le sismogramme obtenu à Canberra (Australie) le 11 mars 2011 suite au séisme de Sendai (Fig. 1) donne l'enregistrement des vibrations dans trois directions orthogonales : une verticale (trace rouge), et deux horizontales orientées Est-Ouest (trace bleue) et Nord-Sud (trace verte). Le temps est donné en temps universel TU. Les traits verticaux en pointillés repèrent les arrivées des ondes S et P et celle des ondes de surface.

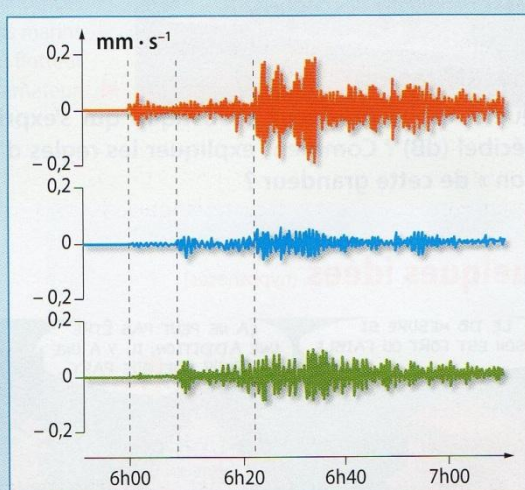
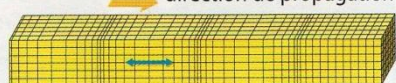
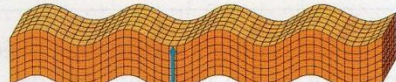


Fig. 1 Sismogramme du 11 mars 2011 à Canberra.

Onde P direction de propagation



Onde S



Onde L



Onde R



Fig. 2 Déformation du sol lors du passage des différents types d'ondes sismiques.

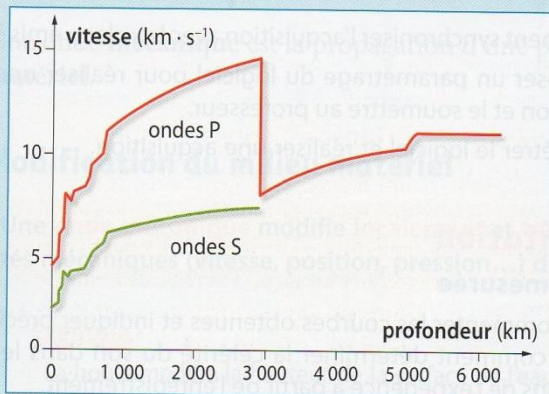
**2. Modélisation de la propagation des ondes sismiques**

Quand la Terre tremble, les vibrations se propagent à partir du foyer dans toutes les directions. Elles sont initialement de deux types. Celles qui compriment et détendent alternativement les roches, à la manière d'un accordéon, et celles plus destructrices qui les cisailent. [...] les ondes P vibrent dans leur direction de propagation, elles soulèvent ou affaissent le sol, tandis que les ondes S vibrent perpendiculairement et nous secouent horizontalement. [...] Mais les secousses ne s'arrêtent pas là. D'autres ondes succèdent à ces premiers ébranlements. En effet la Terre n'étant pas homogène, les ondes P et S sont réfléchies, réfractées par les différentes couches. Elles peuvent être aussi guidées par la surface du sol et former alors les ondes de Rayleigh et de Love. Celles-ci arrivent plus tard et se propagent de manière complexe.

Hélène Le Meur, « Les séismes », *La Recherche* n° 310, juin 1998.

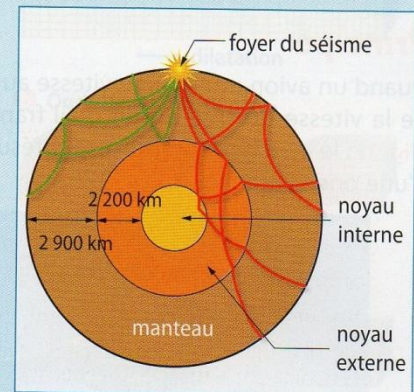
Sachant que les ondes P se propagent dans les solides, les liquides et les gaz, alors que les ondes S ne se propagent que dans les solides, l'étude des sismogrammes enregistrés lors de milliers de séismes a permis d'établir le comportement des

ondes qui se propagent à l'intérieur de la Terre (Fig. 3), et ainsi de décrire les différentes enveloppes concentriques qui constituent l'intérieur du globe (Fig. 4).



**Fig. 3** Variation avec la profondeur de la vitesse de propagation des ondes « de volume » dans le globe terrestre.

**Fig. 4** Exemples de trajectoires suivies à l'intérieur du globe terrestre par les ondes P (en rouge) et les ondes S (en vert).



### 3. Échelle de magnitude

La magnitude permet d'estimer l'énergie libérée par un séisme à partir de l'analyse des sismogrammes.

Cette grandeur a été introduite en 1935 par l'Américain C.F. Richter, pour comparer les tremblements de terre californiens sur une échelle logarithmique. Sa valeur, qui est un nombre sans dimension, se calcule à partir des amplitudes maximales des ondes enregistrées et nécessite des corrections pour tenir compte des caractéristiques du sismomètre et de

sa distance au foyer du séisme. Cette mesure n'est valable que pour les stations de détection proches du séisme ; elle est maintenant appelée magnitude locale. Les sismologues lui préfèrent aujourd'hui la magnitude de moment  $M$ , moins immédiate à déterminer, mais plus fiable, surtout pour les gros séismes.

L'énergie sismique  $\Delta E$  émise au foyer sous forme d'ondes peut être évaluée (en joule) par la relation :

$$\log \Delta E = 1,5 M + 4,32.$$

## 2. Questions

### Propagation des ondes sismiques

- Dans quelle(s) direction(s) se propagent les ondes sismiques à partir du foyer ?
- Citer les différents types d'ondes sismiques. Lesquelles sont émises au foyer ?
- Comparer la direction de propagation des ondes P et S à celle des déformations provoquées.
- Associer à chacune d'elles le type d'onde correspondant :
  - onde mécanique de compression-dilatation ;
  - onde mécanique de cisaillement.
- Commenter l'évolution de la vitesse des ondes P et S dans le manteau du globe terrestre. Comparer la valeur de leur vitesse.
- Comment expliquer que la vitesse des ondes S s'annule à une profondeur de 2 900 km ?
- Sachant que les ondes mécaniques suivent les mêmes lois de propagation que la lumière, expliquer, à l'aide des figures 3 et 4, pourquoi à l'intérieur du globe les ondes :
  - Ne se propagent pas en ligne droite ;
  - Sont réfléchies et réfractées.

### Exploitation d'un sismogramme

- Donner l'ordre d'arrivée des ondes P et S sur un sismogramme.
  - Déterminer leur décalage temporel  $\Delta t$  à Canberra.
  - Serait-il le même dans une autre station sismique ?
- Montrer que si les ondes S et P se propageaient avec des vitesses constantes  $v_s$  et  $v_p$ , la distance  $d$  entre le foyer du séisme et Canberra vérifierait :  $\Delta t = d \cdot \left( \frac{1}{v_s} - \frac{1}{v_p} \right)$
- Sur quelle trace de la figure 1 les ondes P sont-elles le mieux détectées ? Sont-elles observées sur les deux autres ?
- Calculer l'énergie  $\Delta E$  émise lors du séisme de Sendai.
- Vérifier qu'une magnitude de 8,9 au lieu de 7,8 correspond à une énergie libérée plus de 30 fois supérieure.