

Activité 2A Étude des ondes sismiques

CONTEXTE

Des milliers de petits séismes se produisent chaque année dans le monde. Heureusement, les séismes très intenses, qui provoquent de graves dommages, sont beaucoup plus rares. Comment les géophysiciens déterminent-ils les caractéristiques d'un séisme, comme celui du Japon en mars 2011 par exemple ?

DOCUMENTS

Document 1 : un géophysicien raconte le séisme de Sendai au large de Plie 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. »

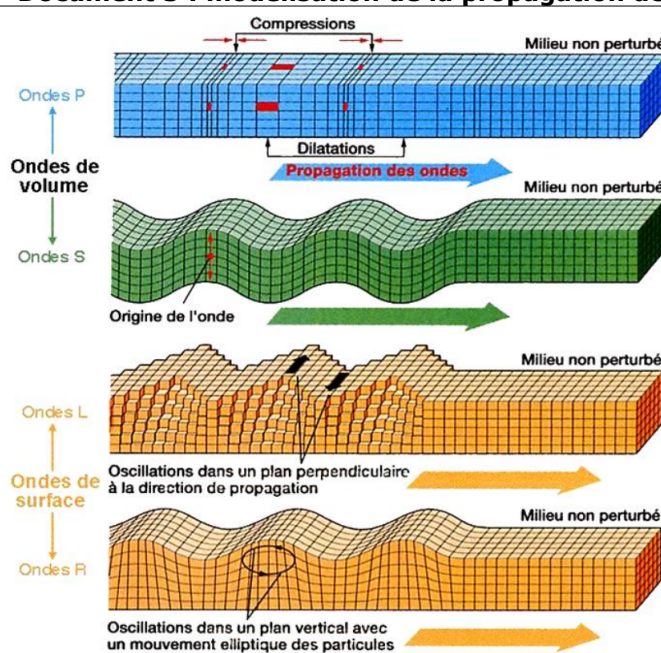
Extrait du récit du géophysicien Jean-Claude Sibuet
publié le 14 mars 2011 par Sylvestre Huet,
journaliste à Libération, sur son blog.

Document 2 : les ondes en général

Le terme « onde » est issu du latin *unda* signifiant « eau courante ». Une onde est définie comme étant la propagation d'une déformation, d'un ébranlement ou d'une vibration. On distingue deux types d'ondes :

- les ondes mécaniques : propagation d'une déformation mécanique dans un milieu. La perturbation se transmet de proche en proche dans le milieu. Elle transfère de l'énergie sans transfert de matière. Ce sont les ondes sonores, les vagues, les ondes sismiques...
- les ondes électromagnétiques : propagation d'un champ électromagnétique ne nécessitant pas de milieu matériel connu. Ce sont les ondes hertziennes, les rayons infrarouges, les ondes lumineuses (radiations visibles), les rayons ultraviolets, les rayons X et les rayons gamma. Ces ondes transfèrent de l'énergie.

Document 3 : modélisation de la propagation des ondes sismiques



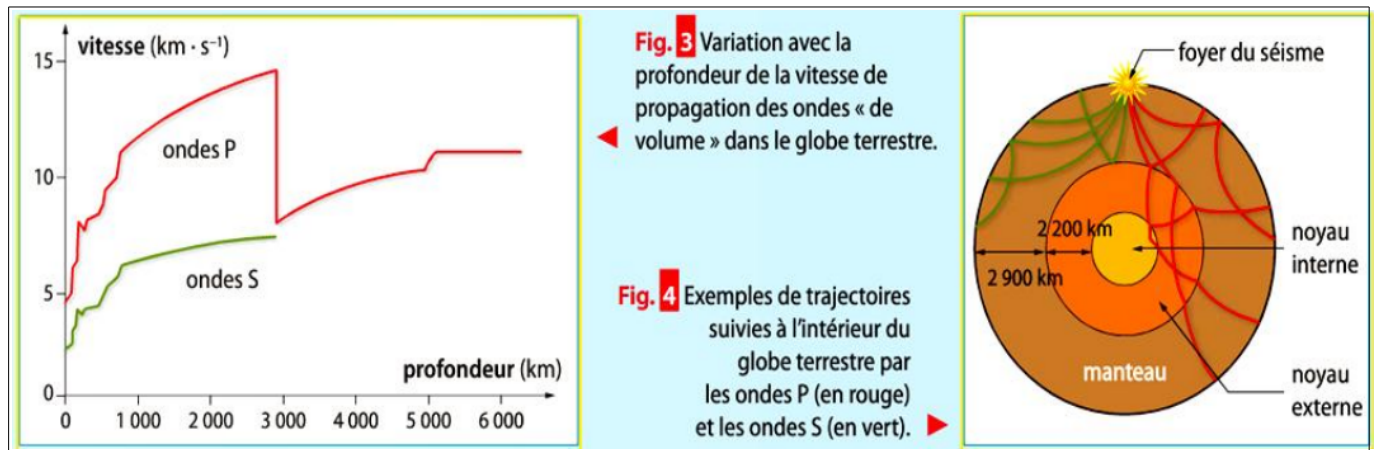
Quand la Terre tremble, les vibrations se propagent à partir du foyer dans toutes les directions. Elles sont initialement de deux types. Celles qui compriment et détendent alternativement les roches, à la manière d'un accordéon, et celles plus destructrices qui les cisailent. [...] les ondes P vibrent 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.

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

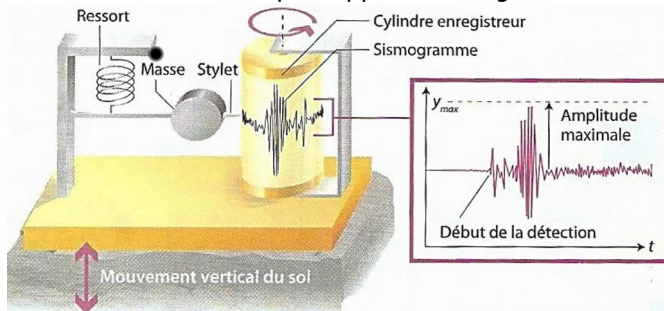
Document 4 : propagation des ondes sismiques

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).

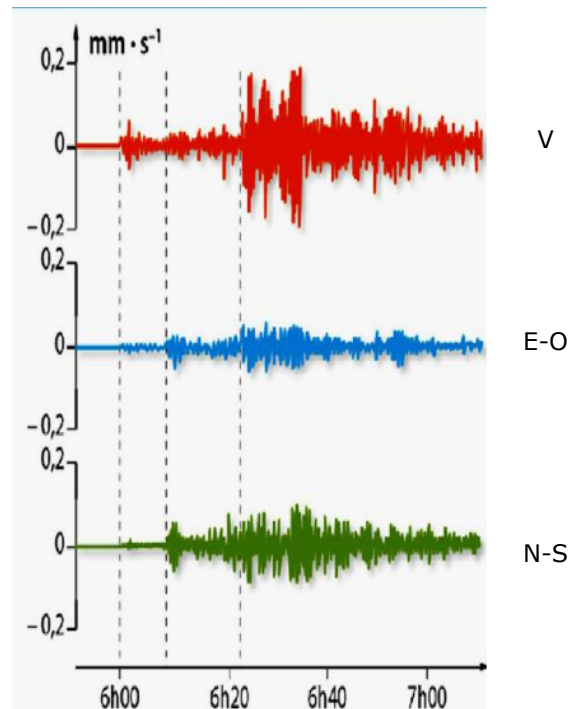


Document 5 : Les sismomètres

Un sismomètre est constitué le plus souvent d'une masse et d'un bâti lié au sol. Un mouvement du sol va entraîner un mouvement du bâti, puis un mouvement relatif entre la masse et le bâti qui porte également le système d'enregistrement. Cet enregistrement du mouvement de la masse en fonction du temps s'appelle sismogramme.



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, et deux horizontales orientées Est-Ouest et Nord-Sud. 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.



ANALYSER

Différents types d'ondes sismiques

1. En quoi les ondes sismiques sont-elle des ondes mécaniques ?
2. Dans quelle(s) direction(s) se propagent les ondes sismiques à partir du foyer ?

Caractéristiques des ondes sismiques

3. Commenter l'évolution de la vitesse des ondes P et S dans le manteau terrestre. Comparer la valeur de leur vitesse.
4. Comment expliquer que la vitesse des ondes S s'annule à une profondeur de 2 900 km ?
5. Sachant que les ondes mécaniques suivent les mêmes lois de propagation que la lumière, expliquer pourquoi à l'intérieur du globe les ondes :
 - a- ne se propagent pas en ligne droite,
 - b- sont réfléchies et réfractées.

Le sismographe :

6. Faire la liste des éléments du sismomètre qui sont mis en mouvement lors d'un tremblement de Terre.
7. Pourquoi est-il nécessaire d'enregistrer les mouvements des sismomètres dans trois directions orthogonales pour un même lieu ?
8. Quelles sont les grandeurs portées en abscisse et ordonnées sur le document 5 ?
9. Donner l'ordre d'arrivée des ondes P et S.

Pour conclure :

10. Quels intérêts y a-t-il à enregistrer les ondes sismiques ?

Activité 2A Étude des ondes sismiques

Différents types d'ondes sismiques

1. En quoi les ondes sismiques sont-elles des ondes mécaniques ?

Doc 2 : ce sont des déformations de la matière qui se propagent nécessairement dans un milieu matériel.

2. Dans quelle(s) direction(s) se propagent les ondes sismiques à partir du foyer ?

Doc 3 : les ondes sismiques se propagent à partir du foyer (lieu d'origine de la rupture des roches en profondeur) dans toutes les directions.

Caractéristiques des ondes sismiques

3. Commenter l'évolution de la vitesse des ondes P et S dans le manteau terrestre. Comparer la valeur de leur vitesse.

Doc. 4 : La vitesse des ondes de volume dans le manteau du globe terrestre (profondeur inférieure à 2 900 km) augmente avec la profondeur, les ondes P se propageant plus rapidement que les ondes S, environ 2 fois plus vite.

4. Comment expliquer que la vitesse des ondes S s'annule à une profondeur de 2 900 km ?

À une profondeur de 2 900 km, la vitesse des ondes P chute brusquement, ce qui correspond au passage du manteau au noyau. Si la vitesse des ondes S s'annule, c'est que le noyau externe se comporte comme un liquide, ces ondes ne se propagent que dans les solides (début du doc. 4).

5. Sachant que les ondes mécaniques suivent les mêmes lois de propagation que la lumière, expliquer pourquoi à l'intérieur du globe les ondes :

a- ne se propagent pas en ligne droite,

les ondes ne se propagent en ligne droite que dans un milieu homogène, comme la composition du globe change avec la profondeur, les ondes S et P ont des trajets non rectilignes ;

b- sont réfléchies et réfractées.

Lorsque les ondes S et P arrivent à la surface de séparation entre deux couches de densité différentes, comme le manteau et le noyau, elles subissent des phénomènes de réflexion (changement de direction en restant dans le même milieu) et de réfraction (changement de direction et de vitesse en traversant la séparation des 2 milieux).

6. Faire la liste des éléments du sismomètre qui sont mis en mouvement lors d'un tremblement de Terre.

Les éléments suivants sont en contact avec le sol : le bâti et le sismogramme avec son cylindre enregistreur. Ce sont les seuls éléments du sismomètre mis en mouvement lors d'un tremblement de Terre.

La masse est le stylet ne bouge pas !

7. Pourquoi est-il nécessaire d'enregistrer les mouvements des sismomètres dans trois directions orthogonales pour un même lieu ?

Pour identifier les types d'ondes sismiques :

La perturbation peut être horizontale dans le sens de la propagation de l'onde (axes Est-Ouest et Nord-Sud)

La perturbation peut-être verticale, perpendiculaire à la propagation de l'onde (axe verticale)

8. Quelles sont les grandeurs portées en abscisse et ordonnées sur le document 5 ?

en abscisse la grandeur est la date (le temps).

En ordonnée la vitesse (en $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$) de la perturbation.

9. Donner l'ordre d'arrivée des ondes P et S.

Les ondes P sont plus rapides que les ondes S, elles arrivent donc avant les ondes S, d'où leur nom P pour primaire, et S pour secondaire.

Remarque : concordance avec le témoignage du géophysicien lors du séisme de Sendai.

10. Quels intérêts y a-t-il à enregistrer les ondes sismiques ?

L'analyse des sismogrammes permet d'accéder à de nombreuses informations comme la magnitude d'un séisme et sa localisation, mais aussi le trajet parcouru par les différents types d'ondes, la nature des terrains traversés...