

Eléments de correction pour l'étape 1 :

1. Le séisme qui s'est produit le 11 mars 2011 au Japon est un séisme de subduction qui correspond à l'enfoncement de la lithosphère océanique dans l'asthénosphère. Ici, la plaque pacifique, qui se déplace vers le nord-ouest, plonge sous la micro plaque Okhotsk, qui se déplace vers le sud-est (rappel du cours de SVT de première S).
2. L'heure *UTC* (Universal Time Coordinated), en français *Temps Universel Coordonné*, est l'heure de référence internationale. Elle correspond aussi à l'heure du méridien de Greenwich (heure GMT). Lorsque le séisme s'est produit, il était 05h46 UTC (doc. 1) soit 06h46 à Paris (GMT +1).
3. Les ondes sismiques se propagent, dans toutes les directions, dans les matériaux constitutifs du globe. Chaque « particule minérale » atteinte par la perturbation subit un déplacement, le communique à d'autres particules avant de revenir à sa position initiale. Les ondes sismiques sont donc des perturbations qui se propagent dans un milieu matériel sans transport de matière, c'est-à-dire des ondes mécaniques.
4. Il est nécessaire d'enregistrer les mouvements des sismomètres dans trois directions orthogonales car il s'agit d'ondes de volume qui se propagent dans les 3 dimensions de l'espace.
5. Le document 5 représente l'évolution temporelle des ondes enregistrées par 3 sismomètres dans 3 directions orthogonales à Canberra en Australie (en abscisse : temps écoulé depuis le séisme en s ; en ordonnée : amplitude). L'arrivée des premières ondes S et P est repérée par des traits verticaux (après environ 10 minutes pour les ondes P, et après environ 20 minutes pour les S).
Pour information, on enregistre ensuite des ondes de plus forte amplitude : il s'agit des ondes de surface mais également des ondes de volume générées par les réflexions et réfractions des ondes P et S aux discontinuités ainsi que les ondes de volume libérées par les répliques du séisme qui peuvent se superposer entre elles augmentant encore l'amplitude des ondes sismiques enregistrées.
6. Les ondes P sont plus rapides que les ondes S d'après les enregistrements.
7. Les ondes S sont arrêtées par le noyau externe de la Terre parce qu'il est liquide.
8. L'onde P a les caractéristiques d'une onde sonore parce que, comme le son, elle se propage par une série de compressions et de dilatations du milieu de propagation.
9. Les ondes P atteindront le bâtiment en premier. Comme elles compriment et étirent alternativement les roches, elles provoqueront des secousses du bâtiment dans une direction parallèle à la direction de propagation de l'onde : le bâtiment sera secoué verticalement. Ensuite, au passage de l'onde S, les mouvements du sol s'effectueront perpendiculairement au sens de propagation de cette onde : il sera secoué horizontalement. Enfin, arriveront les ondes L et R. Les ondes L feront bouger latéralement le bâtiment dans le plan du sol. Les ondes R le soulèveront à la manière d'une vague, avec une grande amplitude et une grande période.

Eléments de correction pour l'étape 2 :

Comment s'est formé le tsunami ?

Le séisme qui s'est produit au large de Sendai est un séisme superficiel qui affecte la croûte. En effet, d'après les documents 2 et 3, on voit que le séisme est superficiel : il ne s'est pas produit dans la lithosphère entrée en subduction mais dans la lithosphère continentale à une faible profondeur (30 km d'après le doc. 3).

D'après le document 7, l'énergie libérée par ce type de séisme entraîne une brutale modification de la topographie du fond océanique ce qui génère la mise en mouvement d'un grand volume d'eau et donc la formation d'un tsunami.

Comment s'est propagé le tsunami ?

La première vague est arrivée environ 10 minutes après les premières secousses soit vers 14 h 56 (heure locale) alors que la marée commençait tout juste à monter. Bien que le tsunami soit qualifié de « raz de marée », il n'y a pas de lien avec la marée : d'après le géologue (doc. 7), un tsunami se propage à la manière de la houle.

On va ainsi modéliser le tsunami comme la houle, par une onde plane progressive sinusoïdale de longueur d'onde égale à 200 km environ et de faible amplitude (doc.9). La profondeur de l'océan étant inférieure à un dixième de la longueur d'onde du tsunami (elle ne dépasse pas 10 km), on peut considérer que le tsunami se propage en eau peu profonde. Sa célérité ne dépend donc que de la profondeur de l'eau.

Comment la vague a-t-elle pu atteindre une telle hauteur à l'approche des côtes ?

Près de l'épicentre la profondeur est de 1200 m environ (doc 3). La célérité du tsunami près de l'épicentre est donc : $v = \sqrt{g \times h} = \sqrt{9,8 \times 1200} = 108 \text{ m.s}^{-1}$ soit 400 km.h^{-1} environ.

A l'approche des côtes, comme la profondeur de l'eau diminue, alors la célérité de l'onde diminue pour atteindre 36 km.h^{-1} (si on considère une profondeur de 10 m). Il y a conservation de l'énergie mécanique et de la période. La célérité diminuant fortement à l'approche des côtes et comme $\lambda = v \times T$: la longueur d'onde diminue λ . A l'approche des côtes, les vagues vont donc se resserrer. L'eau s'accumulant sur une faible profondeur, l'amplitude de la vague va donc augmenter.

Éléments de correction pour l'étape 3 :

La profondeur de l'océan pacifique nord est d'environ 5000 m (doc. 3) ce qui donne une célérité moyenne de :

$$v = \sqrt{g \times h} = \sqrt{9,8 \times 5000} = 220 \text{ m.s}^{-1} \text{ soit } 790 \text{ km.h}^{-1}.$$

La distance entre l'épicentre et Tahiti étant de 9 500 km et en considérant que la célérité moyenne du tsunami est de 790 km.h^{-1} , on peut calculer qu'il mettra environ 12 h à parvenir sur les côtes de Tahiti.

Le séisme s'est produit le vendredi 11 mars à 5h46 UTC soit, en tenant compte des fuseaux horaires, le jeudi 10 mars à 19h46, heure de Tahiti. Le tsunami devrait donc arriver sur les côtes de Tahiti vers 7h46 le vendredi 11 mars (heure de Tahiti).

A Papeete, le tsunami est arrivé le 11 mars à 8h15 heure locale soit environ 12,5 heures après avoir quitté le Japon : compte tenu des incertitudes et des approximations (la distance Tahiti-épicentre est approximative, l'océan n'est pas parfaitement plat, nous n'avons pas tenu compte des obstacles sur le passage du tsunami ...) on peut considérer que notre modèle est correct puisqu'il nous a bien donné l'ordre de grandeur de l'heure d'arrivée.

Corrigé de l'exercice « Pour aller plus loin » :

1. L'échelle de Richter est une échelle locale car elle est adaptée aux séismes californiens.
2. On a défini une nouvelle échelle qui puisse être adaptée à tous les séismes et qui est établie à partir d'un modèle physique de source sismique. Ce n'est pas une échelle locale.
3. Le séisme du 9 mars était de magnitude 7.2 (M_w).
L'énergie E_s rayonnée par les ondes sismiques est proportionnelle au moment sismique M_0 .

$$\text{On a } M_0 = 10^{\frac{3}{2}(M_w+6)}, \text{ donc } \frac{E_{S2}}{E_{S1}} = \frac{M_{02}}{M_{01}} = \frac{10^{\frac{3}{2}(M_{w2}+6)}}{10^{\frac{3}{2}(M_{w1}+6)}} = \frac{10^{\frac{3}{2}(9+6)}}{10^{\frac{3}{2}(7,2+6)}} = \frac{10^{22,5}}{10^{19,8}} = 501$$

Le séisme du 11 mars a libéré 500 fois plus d'énergie que celui du 9 mars !