

1 Sismologie

Le mouvement du sol est enregistré sur un sismomètre suivant trois directions, la direction verticale, la direction longitudinale (suivant le grand cercle séisme-station), la direction transverse (perpendiculaire au grand cercle séisme-station).

1. Dans quel ordre, et sur quelles composantes arrivent les ondes P, S, Love et Rayleigh ?

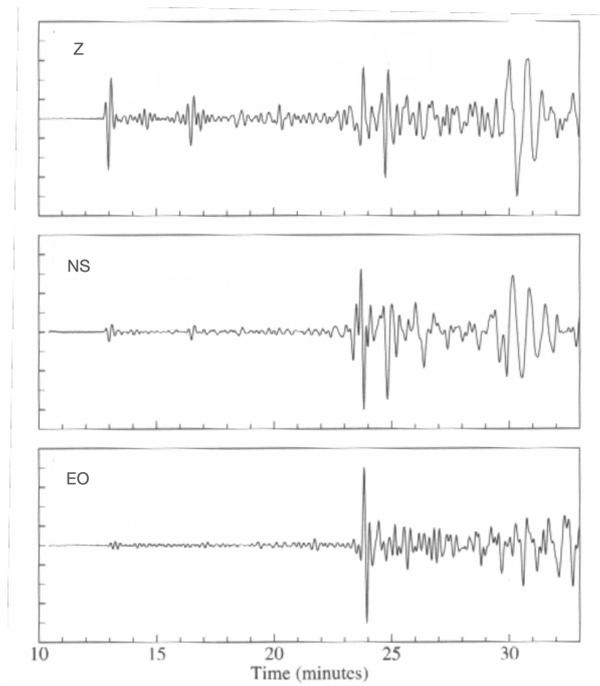


FIGURE 1 – Sismogramme 3 composantes

Le séisme de la Figure 1 a été enregistré en Sibérie (55°N , 60°E) suivant les directions verticales (Z), nord-sud (NS) et est-ouest (EO). En utilisant les Figures 2 et 3,

2. Estimez l'azimut du séisme.
3. Identifiez les différentes ondes visibles, pour ce séisme, et donnez leurs temps d'arrivée après la P.
4. Estimez la distance angulaire à laquelle le séisme a eu lieu.
5. Proposez une localisation pour ce séisme.
6. Pouvez vous imaginer un mécanisme au foyer pour ce séisme ?

2 Géodynamique : Rebond post-glaciaire

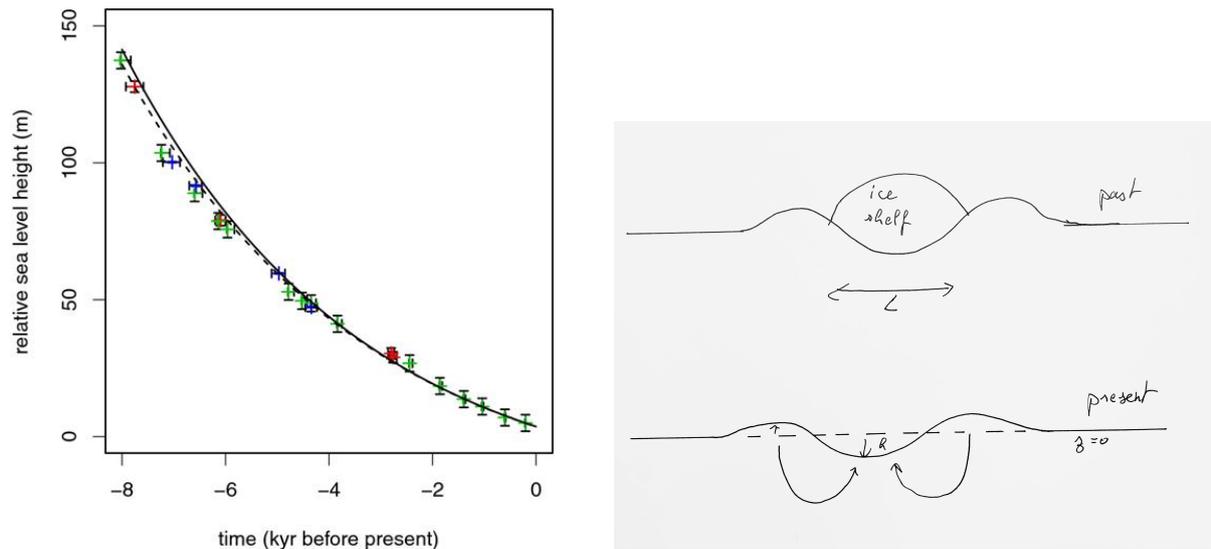


FIGURE 4 – Gauche : niveau marin apparent le long du fleuve Ågerman (Suède) en fonction du temps. Droite : schéma de principe du processus. Tirée de Nordman et al. [2015]

L'étude du rebond post-glaciaire permet de déterminer la viscosité du manteau terrestre. Son principe est simple : suivant la dernière déglaciation, la redistribution des masses à la surface de la Terre provoque une déformation du manteau qui est mesurable en surface et qui dépend de la viscosité du manteau. Cet exercice vous permet de comprendre comment cela fonctionne. Nous allons utiliser une approche dimensionnelle pour obtenir le comportement du système sans passer trop de temps dans des calculs complexes.

On considère que la forme de la Terre était, dans le passé, en équilibre avec le poids d'une calotte de glace à sa surface et que la fusion rapide de celle-ci (et la redistribution en surface de la masse correspondante) implique une déformation de la Terre solide pour atteindre une nouvelle position d'équilibre. L'écart à cette position d'équilibre est représenté par une topographie $h(x, t)$ et les observations de paléo-rivages permettent de connaître son évolution en fonction du temps en divers points, comme par exemple sur le site du fleuve Ågerman, en Suède (Figure 4). Les propriétés physiques de la Terre solide sont supposées uniformes et constantes : densité ρ , viscosité η . Comme indiqué sur le schéma de la Figure 4, l'extension horizontale de la calotte est notée L .

1. En supposant que l'équilibre dynamique dominant est entre le poids de la topographie et la force visqueuse, écrire une relation entre la hauteur de cette topographie et la vitesse dans le manteau faisant apparaître les différents paramètres du problème. En vous aidant du schéma, assurez vous du bon choix de signe.
2. En utilisant le fait que la surface de la Terre est une surface matérielle, écrire une relation entre la topographie et la vitesse en surface. En déduire une équation différentielle pour l'évolution de h .
3. La Figure 4 montre le niveau apparent de la mer en fonction du temps le long de l'Ågerman, en Suède, et son ajustement par une fonction de la forme $h = C(e^{-t/\tau} - 1) + c$, le temps actuel étant pris comme référence et $C = 29.5$ m, $\tau = 4.7$ kyr, $c = 3.6$ m. En considérant que la taille de la calotte est $L = 3000$ km et que la densité des roches concernées est $\rho = 3300$ kg m⁻³, déterminer la viscosité du manteau.
4. Estimer le nombre de Reynolds du processus étudié ici et justifier l'hypothèse de la question 1.

3 Magnétisme

1. Quelle forme a la composante principale du champ magnétique de la Terre et des autres planètes magnétisées ?
2. Une sonde spatiale passe à 10000 km d'une planète et mesure un champ magnétique maximum de 500 nT. Estimez la valeur du champ magnétique à la surface de la planète, de rayon 2630 km.
3. Ecrire l'équation de l'induction qui gouverne le champ magnétique dans un noyau planétaire.

4 Pesanteur - Forme de la Terre

1. Pourquoi les planètes sont-elles quasiment sphériques ?
2. Pourquoi les planètes sont-elles aplaties aux pôles ?
Le rayon équatorial terrestre est de 6378 km. A partir d'autres données que vous connaissez, calculer un ordre de grandeur de l'aplatissement de la Terre. En déduire son rayon polaire.
3. Comment mesure-t-on la pesanteur (ou le potentiel de pesanteur) terrestre ?
4. Les variations de pesanteur mesurées à la surface de la Terre sont essentiellement (beaucoup) plus petites que les variations de pesanteur qui résulteraient de l'attraction des reliefs. Comment l'interprète-t-on ?

5 Volcanologie

1. Quelle est la séquence de processus à l'origine d'une éruption explosive ?
2. On s'intéresse à l'écoulement d'une lave visqueuse, de viscosité μ et de masse volumique ρ , émise le long d'une fissure que l'on suppose infiniment longue. On note h la hauteur de l'écoulement et L sa longueur. On donne $g = 10 \text{ m s}^{-2}$.
 - a) Quelles sont les deux principales forces en jeu dans cet écoulement ?
 - b) En supposant un équilibre entre ces deux forces, estimez comment la vitesse de l'écoulement U évolue en fonction des grandeurs données ci-dessus. Quelle est l'ordre de grandeur de cette vitesse U si $h = 1 \text{ m}$ et $L = 100 \text{ m}$? On considèrera $\mu = 10^4 \text{ Pa s}$, $\rho = 2500 \text{ kg m}^{-3}$.
 - c) On suppose que l'éruption est nourrie par un flux constant. Comment évoluent la longueur et la hauteur de l'écoulement en fonction du temps, si l'on approxime la forme 2D de l'écoulement à un rectangle ?

Références

Maaria Nordman, Glenn Milne, and Lev Tarasov. Reappraisal of the Angerman River decay time estimate and its application to determine uncertainty in Earth viscosity structure. *Geophysical Journal International*, 201(2) :811–822, 2015. doi : 10.1093/gji/ggv051.