

Filtrage mécanique : exemple de la sismologie

Document 1 : séisme, magnitude, onde sismique

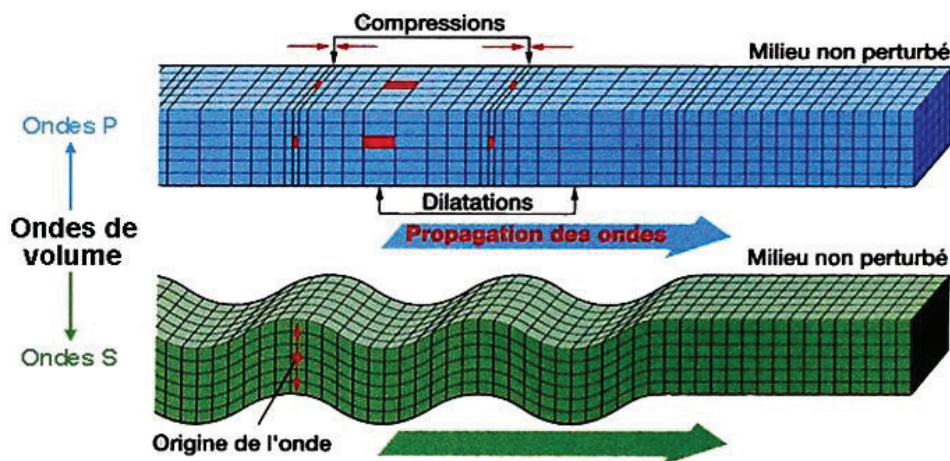
Un tremblement de Terre est provoqué par le mouvement relatif et brutal de deux plaques tectoniques. Une loi d'échelle relie de façon approximative la magnitude, la longueur de la faille (en km), la durée du séisme (en s) et le glissement moyen sur la faille (en m).

Magnitude	Longueur	Durée	Glissement
10	> 1000	> 300	> 100
9	300	100	30
8	100	30	10
7	30	10	3
6	10	3	1
5	3	1	0,3
4	1	0,3	0,1

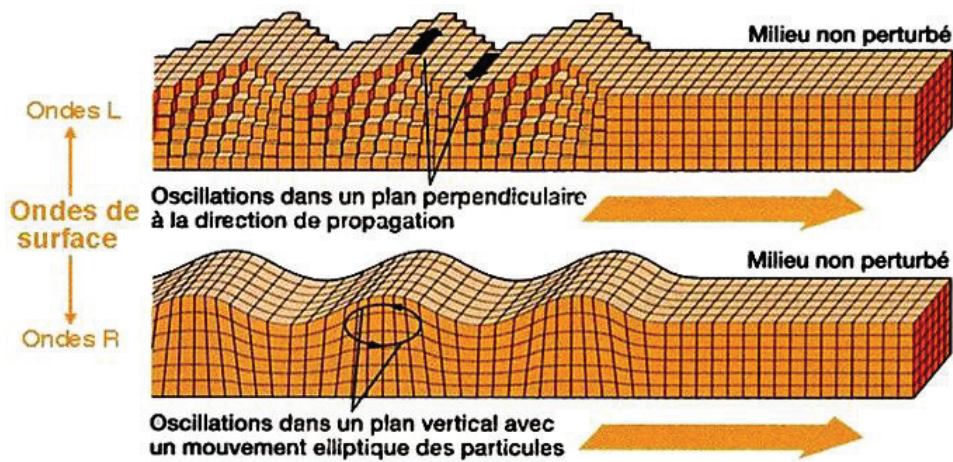
La magnitude la plus importante enregistrée pour un séisme est 9,6. Il s'agit du tremblement de Terre du 23 mai 1960, dans le Sud du Chili.

Les ondes mécaniques produites par un séisme sont de plusieurs natures.

Les ondes volumiques (ondes Primaire et Secondaire) sont les plus rapides. Leurs fréquences sont comprises entre 0,2 et 10 Hz.

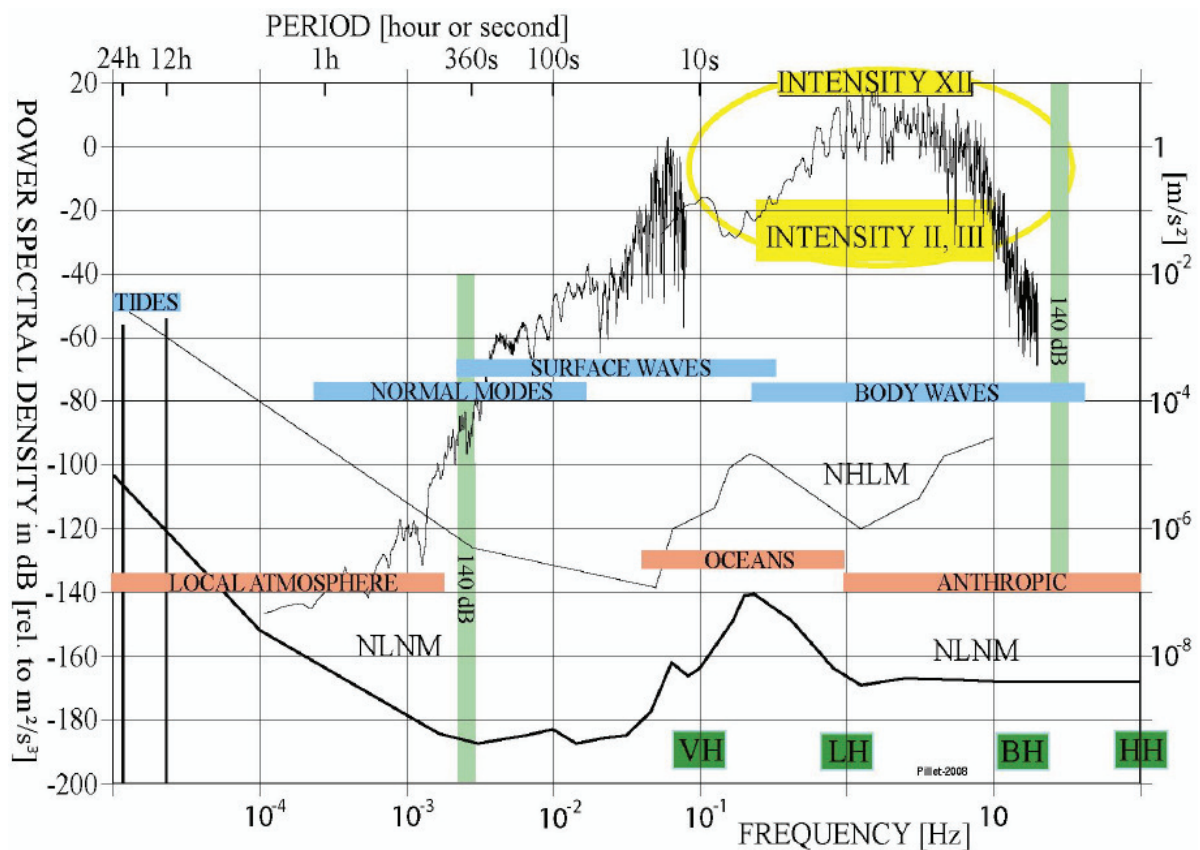


Les ondes surfaciques (ondes de Love et de Rayleigh) sont les plus lentes, mais les plus dévastatrices. Leurs fréquences sont comprises entre 2 mHz et 0,2 Hz.



Document 2 : champ sismologique

Sur le spectre suivant, l'amplitude des ondes est exprimée en dB (relativement à la densité spectrale de puissance, en m^2/s^3) ou en accélération du sol (en m/s^2).



En dehors du champ sismologique, sont représentés :

- en rouge : les différentes contributions au bruit de fond sismique (« local atmosphere », « oceans » et « anthropic »). Les courbes « NHLM » et « NLNM » correspondent aux extremums de ce bruit de fond.

- en bleu : les marées terrestres (« tides ») et les vibrations propres de la Terre (« normal modes »).

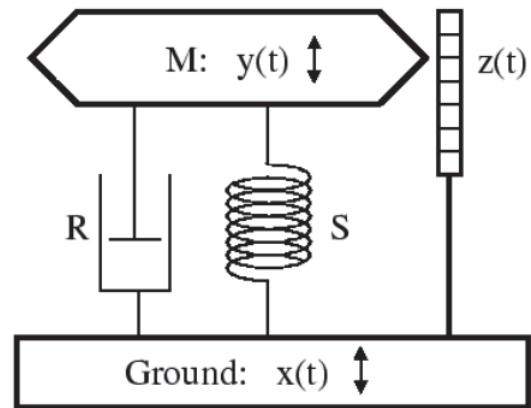
En vert, sur l'échelle des fréquences, quatre fréquences d'échantillonnage sont représentées et notées « HH », « BH », « LH » et « VH ».

Document 3 : fonctionnement mécanique d'un sismomètre

Un sismomètre est un oscillateur mécanique forcé, dont l'excitation est l'onde sismique qui provoque un mouvement $x(t)$ du sol.

L'oscillateur est composé d'une masse inertielle M , d'un ressort de raideur S et d'un système d'amortissement fluide de coefficient R .

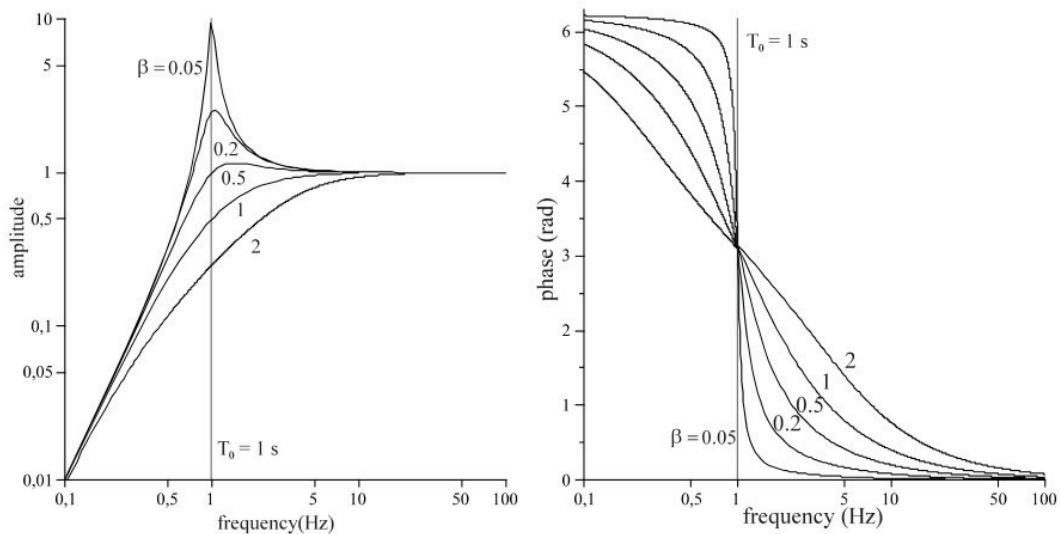
Le mouvement de la masse est repéré par son déplacement $y(t)$ par rapport à l'équilibre et par son déplacement $z(t)$ par rapport au sol.



L'étude théorique d'un tel oscillateur montre qu'il possède deux grandeurs caractéristiques :

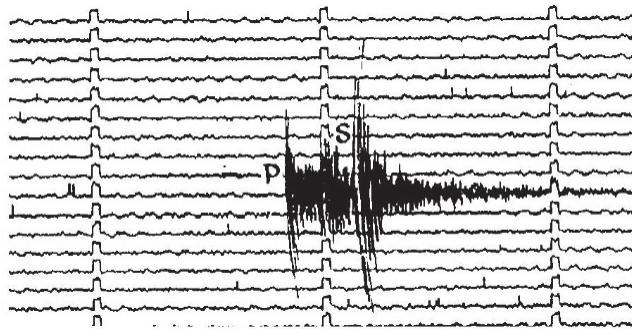
- sa période propre $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{M}{S}}$
- son facteur de qualité $Q = \frac{\sqrt{MS}}{R}$ ou son amortissement $\beta = \frac{1}{2Q} = \frac{R}{2\sqrt{MS}}$

Les réponses en amplitude (représentation logarithmique) et en phase (représentation semi-logarithmique) de cet oscillateur sont les suivantes (pour $T_0 = 1$ s et plusieurs valeurs de β).



Document 4 : transducteur

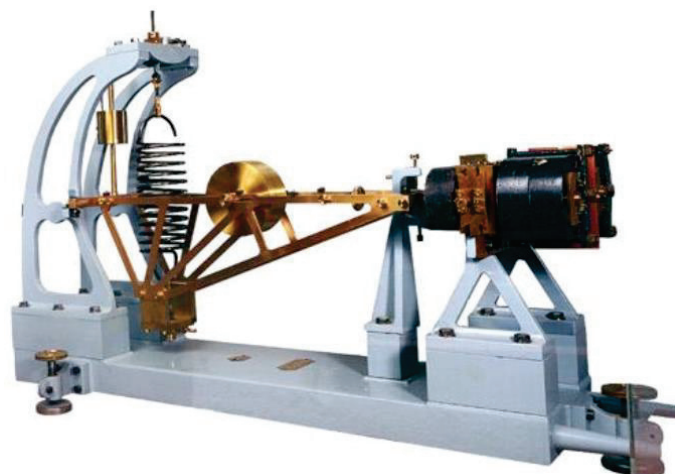
Les premiers sismomètres traçaient le mouvement du sol en même temps qu'ils l'enregistraient.



Actuellement, les sismomètres électromagnétiques sont couplés à un transducteur qui convertit le mouvement de la masse inertielle en un signal électrique mesurable (le plus souvent, une tension). Selon la nature du transducteur, le signal de sortie est proportionnel :

- au déplacement $z(t)$ de la masse inertielle (transducteur constitué d'une bobine se déplaçant dans l'entrefer d'un aimant permanent).
- à la vitesse $\dot{z}(t)$ de la masse inertielle (transducteur capacitif ou inductif).

Le sismomètre de Galitzine est le premier sismomètre électromagnétique (1906). Son transducteur est un couple aimant – bobine.



Document 5 : sismomètre passif, contre-réaction

Un sismomètre passif enregistre directement la tension délivrée par le transducteur. Dans le cas fréquent où le transducteur est un couple aimant – bobine, la tension de sortie s'écrit $V=k\dot{z}$.

On peut alors écrire la fonction de transfert de l'ensemble { oscillateur + transducteur } sous la

$$\text{forme } \underline{FT}(j\omega) = \frac{V}{\dot{X}} = \frac{k\omega^2}{-\omega^2 + j\omega \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}.$$

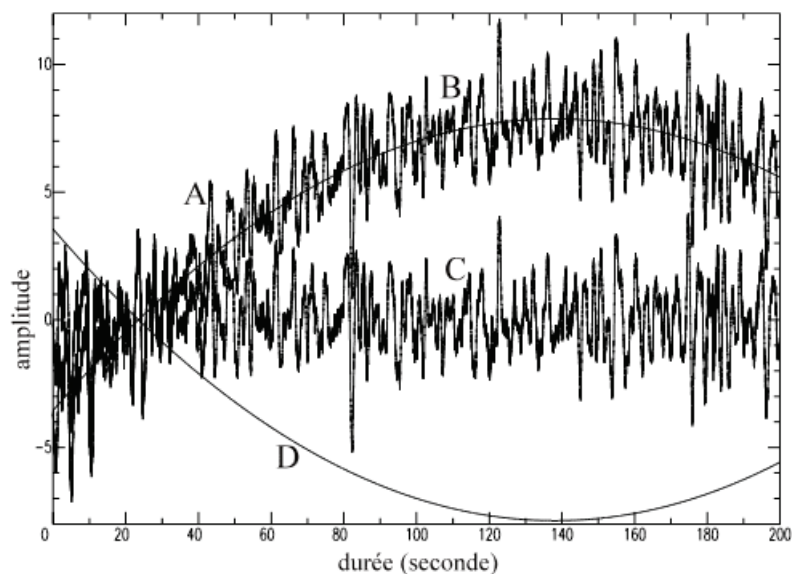
Une contre-réaction prélève une partie du signal de sortie pour le réinjecter dans le terme d'entrée. En sismologie, les contre-réactions utilisés sont électroniques et mettent en œuvre des composants actifs (amplificateur opérationnel, par exemple). Son but est d'amortir les mouvements de la masse inertielle, sans modifier pour autant la période propre de l'oscillateur. L'oscillateur est donc stabilisé par la contre-réaction.

Document 6 : sismomètres CP (courte période) et LP (longue période)

Le signal émis par le sismomètre { oscillateur + transducteur + contre-réaction } peut être amplifié pour être correctement étudié. On distingue alors deux types de sismomètres :

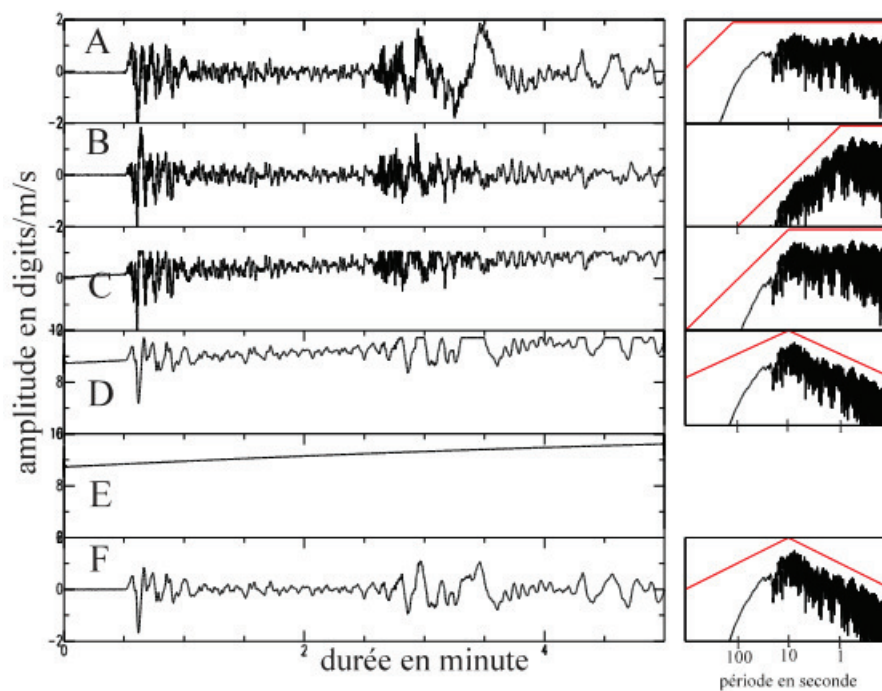
- les sismomètres LP (Longue Période) détectent les basses fréquences entre 0,03 à 0,1 Hz. Celles-ci se propagent sur de grandes distances et peuvent être détectées loin du centre d'émission. Lors de séismes de fortes amplitudes, elles peuvent traverser la Terre entière.
- les sismomètres CP (Courte Période) détectent les hautes fréquences supérieures à 1 Hz, qui se propagent sur des distances beaucoup plus courtes, mais sont mieux adaptés à l'observation des séismes volcano-tectoniques de faible magnitude observée sur les volcans.

Sur le graphe suivant, un signal « A » à la sortie d'un transducteur est séparé en un signal LP « B » et un signal CP « C ». Le signal « D » est l'inverse du signal « B ». Il est utilisé pour contraindre la masse autour d'une position LP proche du zéro du capteur de déplacement.



Document 7 : exemples de sismographes

Les sismographes suivants ont été enregistrés par des sismomètres différents, certains mesurant la vitesse des vibrations du sol, d'autres mesurant le déplacement du sol. A droite des sismographes, le spectre du signal de sortie a été superposé à la réponse en amplitude du sismomètre.



Etude des documents :

1. Pour étudier complètement un séisme, il est nécessaire d'utiliser des sismomètres horizontaux et des sismomètres verticaux. Pour quelle raison ? Le sismomètre de Galitzine du document 4 est-il un sismomètre horizontal ou vertical ? Proposer un schéma de sismomètre horizontal dont l'oscillateur mécanique est un pendule à rotation (le poids est la force de rappel).
2. Le spectre d'un séisme a été représenté sur le champ sismologique du document 2. On indique que l'homme ne perçoit que les accélérations supérieures à $\frac{g}{1000}$. Commenter le spectre du séisme représenté. Que peut-on dire des secousses entourées en jaune ?
3. Les sismologues choisissent un amortissement $\beta=0,707$. Expliquer le choix de cette valeur.
4. Quelle est la nature du filtre constitué par l'ensemble { oscillateur + transducteur } pour un sismomètre de Galitzine ? Quel terme de sa fonction de transfert est modifié par l'ajout d'une contre-réaction ? Quelle est alors la nature du filtre { oscillateur + transducteur + contre-réaction } ?
5. Quel rôle joue, en termes de filtrage, l'amplificateur placé en sortie du sismomètre ? On distinguera le sismomètre LP et le sismomètre CP. Justifier alors l'allure des signaux « B » et « C » du document 6.
6. Commenter les sismographes proposés dans le document 7 : type de sismomètre, filtrage...