

Géophysique (Sismique- réfraction)

Version du 2019-09-23

1. Objectifs

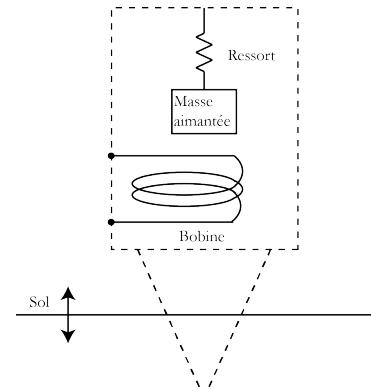
2. Notions théoriques

L'étude de la propagation des ondes sismiques permet d'obtenir de nombreux renseignements sur la nature du terrain ainsi que la disposition des différentes couches qui le composent. Lors d'un tremblement de terre, les déplacements du sol peuvent être décrits mathématiquement en faisant appel à la superposition de quatre types d'ondes : longitudinales, transversales, de Rayleigh et de Love. Pour des fins d'exploration géophysique, on utilise naturellement les vibrations qui se propagent le mieux et qui sont les plus faciles à produire et à détecter : les ondes longitudinales et quelquefois les transversales (pour les géologues, ce sont respectivement les ondes P et S).

Parmi les phénomènes qui influencent la propagation dans le sol, il faut distinguer la réfraction et la réflexion. Le premier conduit à des résultats généralement plus faciles à interpréter. La présente expérience en sera une de "sismique réfraction" avec des ondes P. La technique de sismique réfraction est largement utilisée en géophysique pour sonder la topographie du sous-sol, par exemple par les industries minières ou pétrolières.

2.1 Détection des ondes sismiques

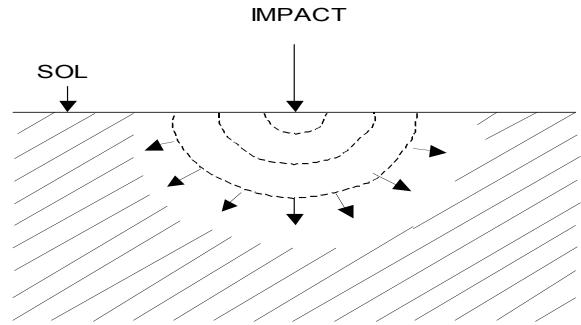
Pour détecter et mesurer les faibles mouvements du sol, un géophone est utilisé. Le principe de ce capteur est simple. Le boîtier est entraîné par les vibrations du sol. À l'intérieur (voir la figure de la page suivante) se trouve une masse métallique aimantée suspendue par des ressorts. De par son inertie, la masse tend à demeurer stationnaire. À l'intérieur du boîtier et solidaire à lui se trouve aussi une bobine placée dans le champ magnétique de l'aimant. Les mouvements relatifs bobine-aimant font varier le flux magnétique dans la bobine d'où l'apparition d'une tension induite.



2.2 Production des ondes

Puisque les ondes longitudinales correspondent à une compression (puis dilatation) dans la sens du déplacement, il suffit de provoquer un impact à la surface du sol ou à une certaine profondeur pour en produire.

La source de l'impact peut être une masse (motorisée ou manuelle) qui frappe le sol à grande vitesse, ou la détonation d'une charge explosive. Lorsque plusieurs mesures doivent être faites successivement, la première méthode a l'avantage d'être plus rapide et sans danger. Par contre, la seconde permet de produire des vibrations avec une énergie presque illimitée.

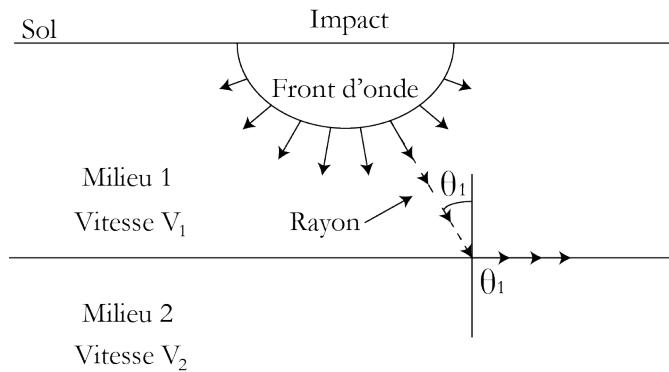


Au départ, l'onde est approximativement sphérique mais, par la suite, elle devient plus complexe à cause de l'inhomogénéité du terrain. Et c'est justement cette inhomogénéité qui va nous permettre d'étudier la structure et la constitution du sous-sol.

2.3 Propagation

Les ondes sismiques subissent la réfraction de la même manière que les ondes optiques et obéissent à la même loi de Snell :

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{V_2}{V_1}$$



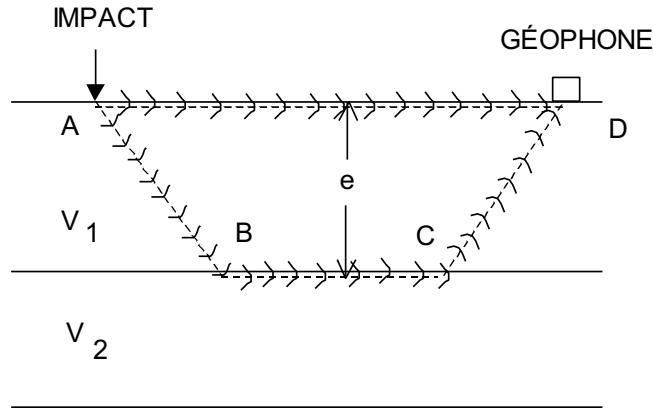
Par conséquent, si la vitesse de propagation dans le milieu 2 est plus élevée que V_1 , l'angle de réfraction θ_1 peut atteindre 90° et l'onde se propage alors en suivant un parcours parallèle au plan de contact. Ceci se produit lorsque l'angle d'incidence θ_2 a la "valeur critique" donnée par :

$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin \theta_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

C'est précisément cette onde qui est utilisée en sismique-réfraction. Pendant sa propagation, elle constitue une source de vibrations qui, après avoir subi une nouvelle réfraction (mais vers le haut cette fois) deviennent détectables à la surface.

2.4 Détection

Un géophone placé en D détecte la vibration qui a circulé directement de A vers D en suivant la surface et aussi celle qui a fait le parcours ABCD.



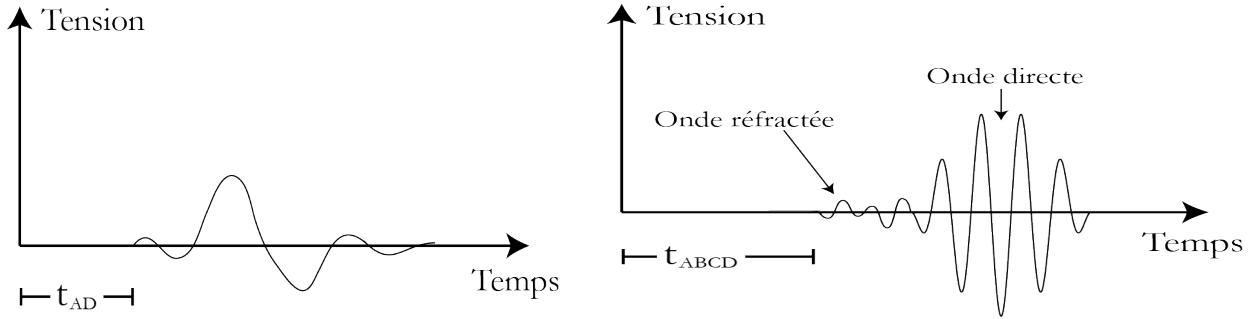
La mesure des temps de propagation permet de déduire l'épaisseur "e" de la couche supérieure ainsi que les vitesses de propagation dans les deux milieux. La connaissance des deux vitesses permet ensuite de tirer des conclusions quant à la nature des terrains.

Selon la figure :

$$t_{AD} = \frac{AD}{V_1} \text{ et } t_{ABCD} = \frac{AB}{V_1} + \frac{BC}{V_2} + \frac{CD}{V_1} .$$

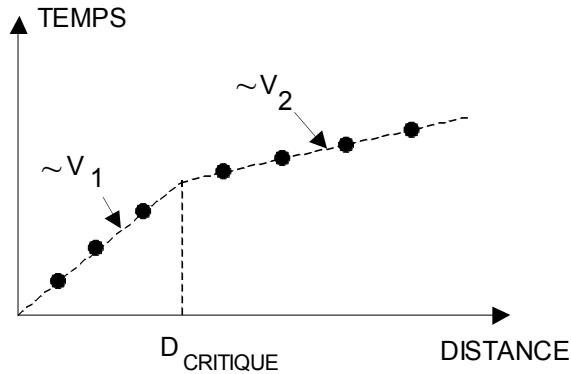
Un oscilloscope dont le balayage est déclenché à l'instant de l'impact permet de mesurer le temps d'arrivée du signal au géophone. Comme le phénomène n'est pas répétitif, il faut que l'oscilloscope ait une mémoire capable de conserver la trace assez longtemps pour en permettre la lecture. De plus, le signal étant souvent très faible et entaché de bruit, on utilise maintenant des oscilloscopes qui permettent d'additionner plusieurs traces; il suffit de produire des impacts plusieurs fois de suite jusqu'à ce que le signal résultant soit assez grand.

Par ailleurs, le signal produit par le géophone a en général une forme complexe qui dépend en particulier de sa réponse propre. Ceci fait qu'il n'est pas possible de distinguer les deux ondes l'une de l'autre. Une façon de contourner cette difficulté consiste à déplacer le géophone (ou en utiliser plusieurs, à différentes distances) et mesurer pour chaque position le temps qui s'écoule entre l'impact et l'arrivée de la toute première vibration.



Ainsi, avec de petites distances AD, on a $t_{AD} < t_{ABCD}$ et le signal du géophone est comme indiqué ci-haut. Le signal correspondant à l'onde ABCD n'est pas visible car il arrive plus tard et il est noyé dans le signal.

Si on répète l'observation, mais avec une distance AD plus grande, le temps t_{ABCD} n'augmente pas autant que t_{AD} car la partie BC du trajet se fait à une vitesse V_2 supérieure à V_1 . Finalement, avec une distance AD suffisante, l'onde réfractée est la première à arriver au détecteur. Ainsi, le graphique ainsi obtenu peut se décomposer en deux droites de pentes différentes. La première pente est liée évidemment à V_1 et la seconde à V_2 car pour l'onde réfractée, les trajets AB et CD prennent un temps constant, indépendant de la position du géophone.



Le point où les deux droites se rencontrent correspond à la distance à laquelle les deux temps de propagation sont identiques; elle est appelée la "distance critique". Quelques manipulations trigonométriques permettent d'arriver à une formule simple qui donne l'épaisseur de la couche supérieure :

$$e = \frac{D_c}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}} .$$

3. Manipulations

Les manipulations pour ce laboratoire se divisent en deux parties : on vous demande d'abord de mesurer la fréquence de résonance d'un géophone en laboratoire (30 min.), puis de concevoir un montage pour mesurer par sismique réfraction à quelle profondeur se trouve le cap rocheux sur lequel est construit l'Université Laval (sous le Grand Axe).

3.1 Expérience en laboratoire

2.1.1 Vérification

Ce sont des appareils conçus pour être sensibles à des vibrations extrêmement faibles et pourtant, ils sont exposés à subir des chocs violents de toutes sortes lors de leurs manipulations sur le terrain. Il n'est donc pas surprenant que leur taux de défaillance soit relativement élevé. Par conséquent, il est d'usage de les vérifier avant de partir en expédition. Brancher le géophone sur l'oscilloscope et, en le tenant verticalement, lui imprimer de légères secousses. L'oscilloscope devrait détecter un signal appréciable. Vous pouvez facilement vérifier que la réponse du géophone est nettement supérieure à un mouvement vertical (le long de son axe) plutôt que pour un mouvement transversal.

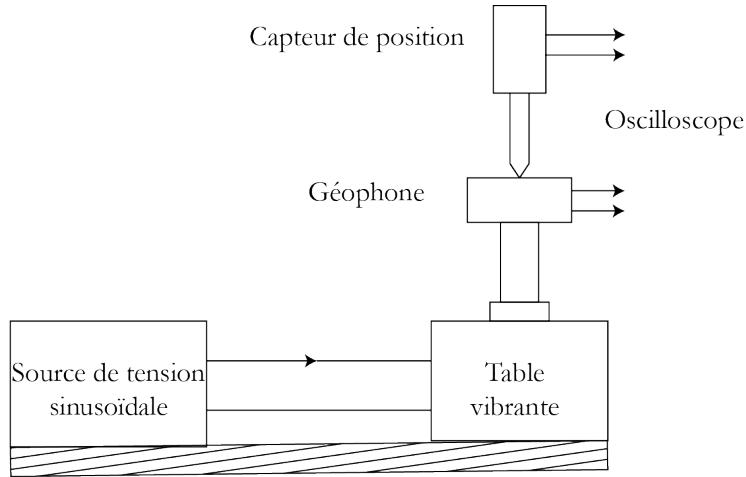
2.1.2 Étalonnage et fréquence de résonance

Pour de simples mesures de sismique réfraction, il n'est pas nécessaire de connaître la grandeur des signaux produits par le géophone; seule la mesure du temps de propagation importe. Cependant, pour certaines applications (par exemple pour le contrôle des vibrations lors d'opérations de dynamitage sur des chantiers de construction), il peut être nécessaire de connaître la relation entre l'amplitude d'une vibration et le signal électrique qui en résulte.

Un élément clé déterminant l'amplitude du signal du géophone est toutefois la fréquence de résonance de l'instrument. Pour cette première partie de l'expérience, on vous demande donc de **déterminer la fréquence de résonance du géophone** à votre disposition. Les équipements mis à votre disposition pour y arriver sont un oscilloscope, une table vibrante, un générateur de fonction et un capteur de position calibré. Les spécifications techniques du capteur de position LD-300-15 sont en annexe à ce protocole. Le schéma suivant illustre une suggestion de disposition mais libre à vous d'utiliser les équipements comme bon vous semble.

Voici quelques éléments à prendre en compte :

- Il y a (au moins) deux approches possibles pour mesurer la fréquence de résonance d'un oscillateur. Il serait bien que vous essayiez les deux pour pouvoir comparer les résultats.
- Assurez-vous d'isoler la fréquence de résonance du géophone à partir de vos mesures. D'autres instruments possèdent aussi leur propre réponse en fréquence.
- Vous pouvez prendre 30-45 min pour cette partie, mais pas plus.



1.2 Expérience sur le terrain

Le but des manipulations est de mesurer l'épaisseur du mort-terrain (à quelle profondeur se trouve le roc) au moyen de la sismique-réfraction. Concrètement, il s'agit de mesurer le temps entre la génération d'une onde sismique (avec une masse manuelle) et le premier signal détectable sur un géophone placé à proximité. Un graphique de ce délai de propagation en fonction de la distance entre la masse et le géophone vous fournira l'information nécessaire.

à

Vous devez concevoir un système d'acquisition qui pourra enregistrer les signaux d'un ou plusieurs géophones suite à la production d'une onde sismique à l'aide de la masse. Vous pouvez utiliser un oscilloscope, une carte d'acquisition ou tout autre instrument qui vous inspire. La conception de votre appareil doit être influencée par les types de signaux que vous prévoyez détecter, les échelles de temps pertinentes, la précision que vous souhaiteriez atteindre, etc. Documentez le plus possible votre processus de conception.

PREPARATION : Vous serez beaucoup plus efficace pendant la séance si vous arrivé avec une bonne idée du système d'acquisition que vous voudriez mettre en place. Vous pouvez faire les recherches pour avoir une idée des signaux et des temps impliqués dans l'acquisition et/ou préparer le logiciel d'acquisition de données. Nous avons dans le laboratoire une carte d'acquisition [USB-6008](#) de National Instruments, un système d'acquisition [Labjack U3-LV](#) et un oscilloscope 2 canaux (avec une entrée EXT Trig).

Questions

- 1- À quelle profondeur se situe le socle rocheux à l'endroit où vous avez fait vos observations?
- 2- À partir de votre graphique des temps d'arrivée mesurés en fonction de la distance, déterminer l'erreur faite sur cette profondeur et en discuter la vraisemblance.
- 3- Pouvez-vous penser à d'autres mesures que vous pourriez faire avec ce géophone?