

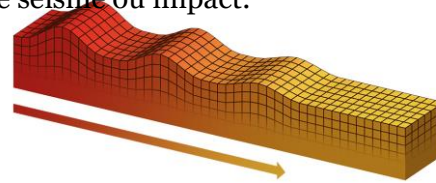
Localiser l'épicentre d'un séisme martien avec un seul sismomètre

1. Introduction & Pb

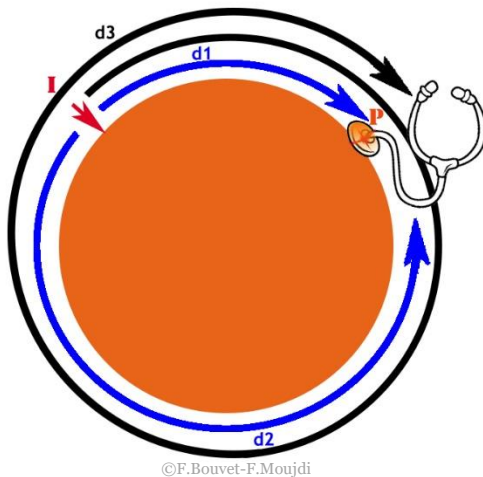
Essayons de comprendre comment, avec un seul sismomètre, les scientifiques de la mission Insight vont-ils pouvoir localiser l'origine des ondes sismiques créées par un impact de météorite ou un séisme.

Théoriquement, Mars ayant un petit périmètre, les scientifiques espèrent enregistrer plusieurs trains d'ondes, décalés dans le temps correspondant au même séisme ou impact.

Les ondes qui peuvent faire plusieurs fois le tour de la planète sont les ondes de surface de Rayleigh.



Principe de déplacement d'une onde de surface
(© IPGP/David Ducros).



©F.Bouvet-F.Moujdi

I: Point d'impact, origine de l'onde sismique.

P: Sismomètre

T₁: le temps mis par les ondes sismiques pour parcourir la distance **d₁**

T₂: le temps mis par les ondes sismiques pour parcourir la distance **d₂**

T₃: le temps mis par les ondes sismiques pour parcourir la distance **d₂+2d₁** or **d₃**

2. Age des étudiants 15 – 17 ans

3. Objectif

Un des objectifs de la mission Insight est de localiser un séisme sur Mars à l'aide d'un seul sismomètre. La distance entre l'épicentre, le point en surface qui correspond au point de rupture des roches en profondeur (appelé foyer) et la station de réception peut facilement être calculée en mesurant la différence entre le temps d'arrivée des ondes P (qui arrivent les premières au sismomètre) et celui des ondes S (qui arrivent les secondes). L'erreur ici n'est que d'environ 10%.

Pour localiser l'épicentre, en plus de la distance par rapport à la station, il est également nécessaire de déterminer sa direction, c'est-à-dire son azimut. La direction dans laquelle les ondes sismiques arrivent peut-être déterminée par le fait que le sismomètre SEIS mesure les signaux sismiques dans les trois directions de l'espace.

En étudiant les données du plan horizontal fournies par les axes du sismomètre, la direction peut être connue avec une incertitude d'environ 10° . Dans notre expérience, nous utiliserons un accéléromètre pour simuler le travail de l'instrument SEIS.

4. Disciplines principales

Physique – Sciences de la Terre – Mathématiques

5. Disciplines complémentaires

Informatique: Arduino

6. Temps requis 2h

7. Mots clés

Epicentre, Ondes de surface, Fréquence, Sismogramme

8. Matériels

- Un ballon Pilates, périmètre 250 cm
- Audacity 1.2.6
- 1 cellule piézoélectrique
- 2 barres de polystyrène
- 1 ruban à mesurer
- 1 boule de 11,5g et 1,4cm suspendue à un fil de 1m fixé à un rapporteur d'angles

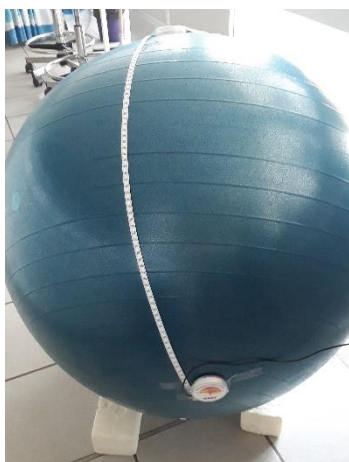
9. Connaissance requise

Les notions de propagation des ondes sismiques, les origines d'un séisme (rupture brutale des roches en profondeur).

10. Protocole

- Placer le ballon sur les barres de polystyrène pour éviter tout contact avec le sol.
- Fixez une cellule piézo sur le ballon.
- Déterminer une zone de frappe à 115 cm de la cellule piézoélectrique
- Suspendez le rapporteur de façon à ce que la balle soit au niveau de la zone de frappe.
- Expérimentons avec un modèle pour mieux comprendre la théorie

Détail du dispositif expérimental



esponsib ©F.Bouvet-F.Moujdi



Such co

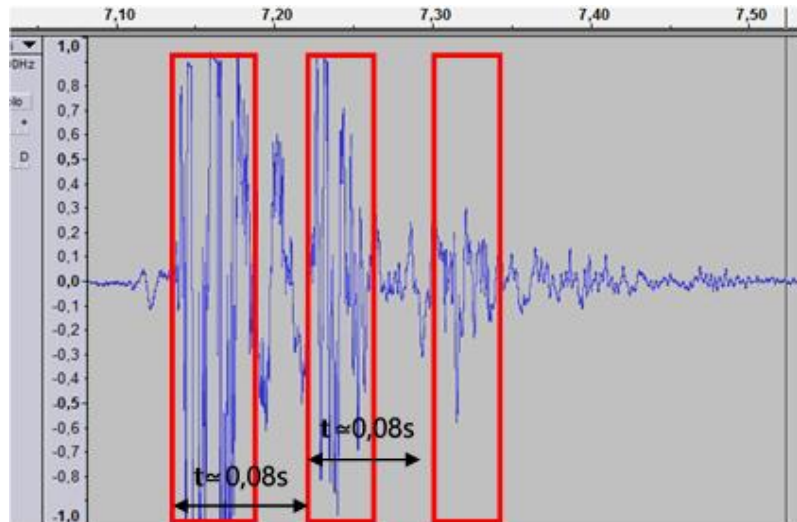


Réaliser plusieurs enregistrements successifs avec des impacts d'intensité constante. Pour ce faire, déplacez la bille de manière à ce que le fil soit orienté à 60° par rapport à la verticale.

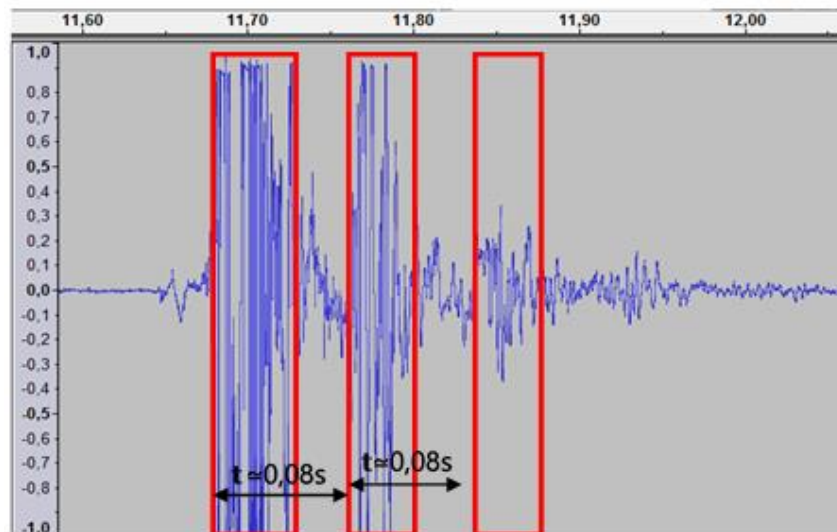
Analysons les résultats obtenus :

Plusieurs trains d'ondes sont observés comme prévu par les simulations des scientifiques. Déterminons le temps écoulé entre les différents trains d'ondes

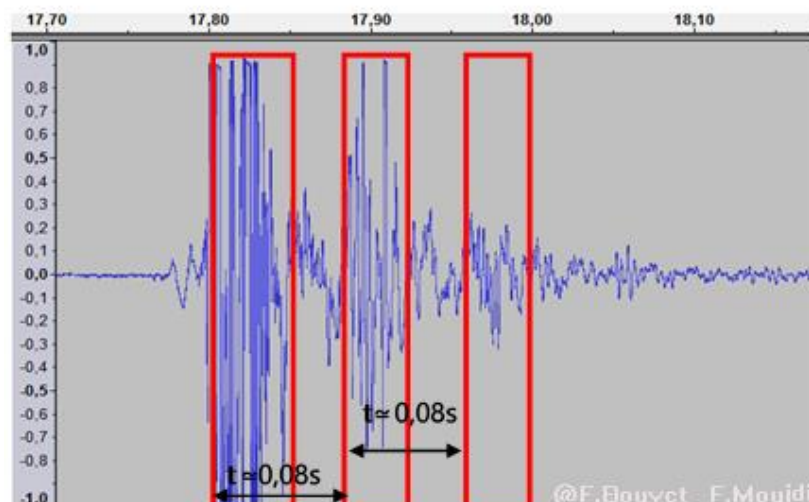
Enregistrement 1



Enregistrement 2



Enregistrement 3



From the obtained results, let us assume that the time elapsed between each wave train corresponds to the time taken by the latter to complete a complete balloon revolution d_2+d_1

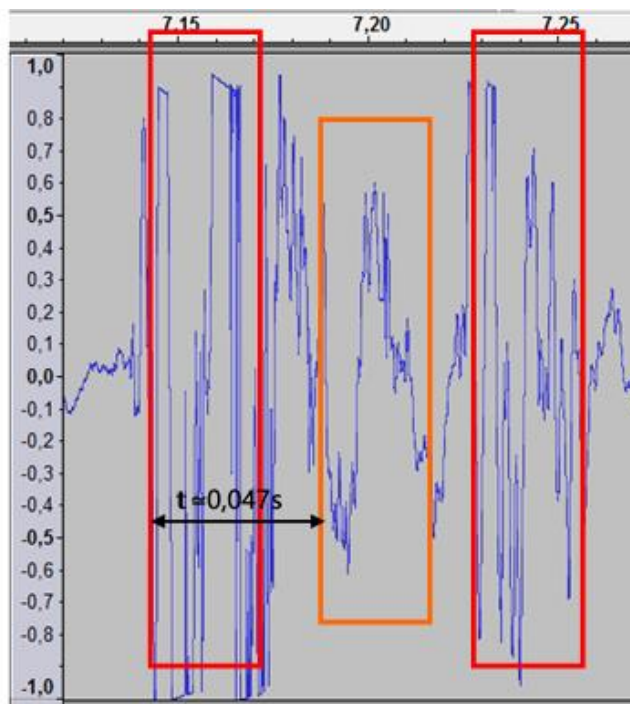
We can therefore determine an approximation for the speed of wave propagation on the surface of the balloon.

$$V = d / t = (d_1 + d_2) / t$$

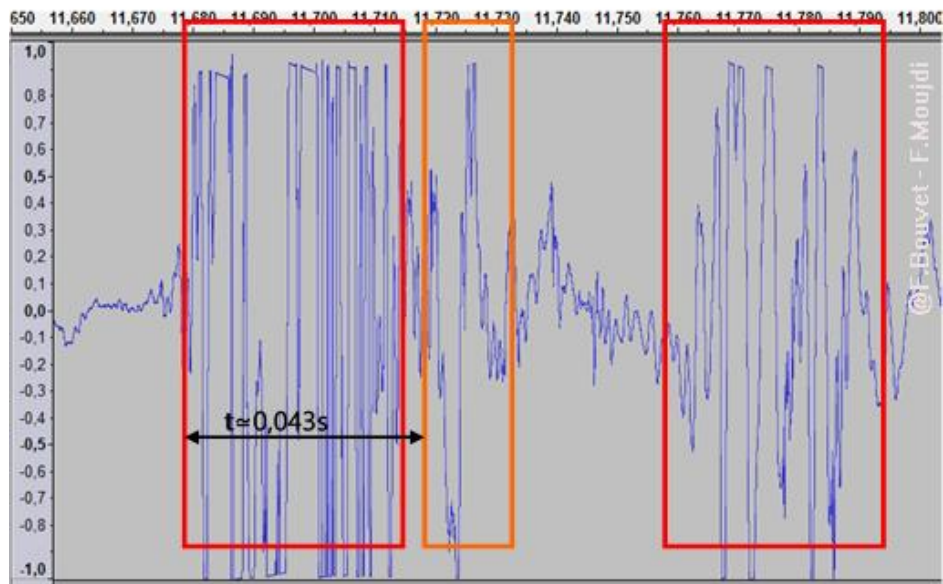
$$= 250 / 0,08 = 3125 \text{ cm.s}^{-1}$$

Let's take a closer look at the signals between the first two waves trains. We are trying to find out if the waves that travelled the distance d_2 were detected by the piezo.

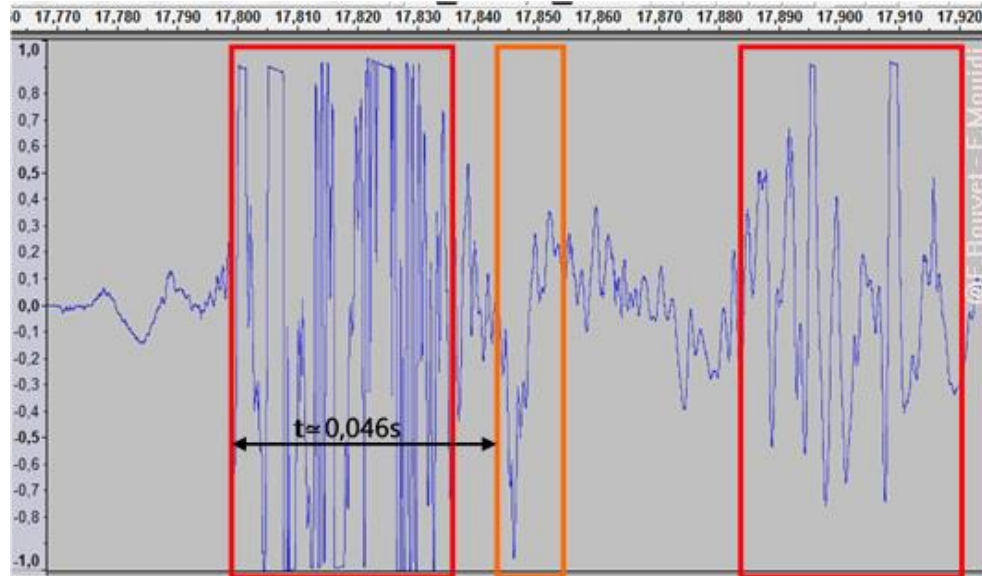
Enregistrement 1



Enregistrement 2



Enregistrement 3



Supposons que ce signal corresponde aux ondes qui ont parcouru la distance d_2 .

On peut estimer une zone d'impact.

$$d_2 = v \times t_2$$

En fonction des valeurs obtenues, on obtient

$$3125 \times 0,043 \leq d_2 \leq 3125 \times 0,047$$

$$134 \text{ cm} \leq d_2 \leq 146 \text{ cm}$$

On peut donc en déduire :

$$250 - 146 \leq d_1 \leq 250 - 134$$

$$104 \text{ cm} \leq d_1 \leq 116 \text{ cm}$$

On obtient une estimation de d_1 correspondant à la zone de frappe réelle (115cm).

11. Echange autour des résultats et conclusion

La distance entre le sismomètre et la source du séisme, l'heure du séisme et la vitesse moyenne à laquelle les ondes se déplacent sur la surface de la planète peuvent être estimées en combinant les temps d'arrivée des ondes R_1 , R_2 et R_3 . Les tremblements de terre de magnitude 4,5 ou plus sont relativement rares sur Mars, mais les géophysiciens estiment qu'au cours de la mission (une année martienne ou deux années terrestres), il devrait être possible d'observer entre 3 et 5 environ.

Il est important de noter que l'efficacité des techniques qui seront mises en œuvre par la mission InSight a été testée avec succès sur Terre à partir de données provenant de stations uniques. (cf : Localisation de l'épicentre sur Terre à partir d'un seul sismomètre). Ces travaux ont mené à la découverte de l'un des modèles de structure interne de la Terre couramment utilisés par les géophysiciens (PREM) avec une marge d'erreur acceptable.

Cependant, il reste des inconnues et la validité de la technique résumée ci-dessus ne peut être confirmée tant que les scientifiques n'auront pas reçu et analysé les données sismiques provenant de Mars.

12. Pour aller plus loin

Sur la Lune, les géophysiciens ont été étonnés de découvrir que la croûte lunaire provoquait une énorme diffraction des ondes sismiques, empêchant l'existence des ondes de surface. La croûte martienne, tout comme la croûte lunaire, a été exposée à un bombardement massif d'astéroïdes au début de la formation du système solaire, sa nature pulvérisée et ses nombreux cratères, en particulier dans l'hémisphère sud de la planète, pourraient également provoquer une diffraction des ondes sismiques, ce qui complique sérieusement les analyses.

13. Pour en savoir plus (Ressources pour les enseignants)

- <https://www.seis-insight.eu/en/public-2/martian-science/seismic-activity>

- The geology of Mars, edited by Mary Chapman