

Exercices 2 Ondes mécaniques

Application : célérité du son au laboratoire, sondeur de pêche, séisme, télémètre à ultrasons en Python

4 exercices · niveau ●●○ · durée conseillée : 2 h · calculatrice autorisée

★ À RETENIR — Ce qu'il faut savoir faire à la fin de la feuille

- Mesurer une célérité par un retard ou une longueur d'onde ; évaluer une incertitude-type ; calculer un écart normalisé.
- Exploiter un écho (sondeur, télémètre) et les retards de deux ondes (séisme) ; lire un programme Python.

Exercice 1 Mesurer la célérité du son avec deux microphones

●●○

Partie 1 — Par la mesure d'un retard

Deux microphones M_1 et M_2 sont alignés avec un claquoir, à la distance $d = 1,20$ m l'un de l'autre, M_1 étant le plus proche. Un oscilloscope enregistre leurs signaux lors d'un claquement (figure 1).

- 1.1** Quelle voie correspond à M_2 ? Mesurer le retard τ de M_2 par rapport à M_1 ; en déduire la célérité v du son.
- 1.2** Le début d'un signal est repéré à 0,2 division près. Entre quelles valeurs v peut-elle se trouver ? Conclure.

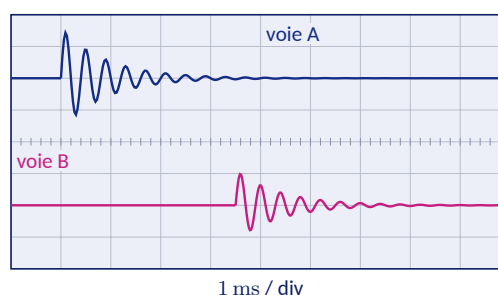


Figure 1 — Signaux des deux microphones

Partie 2 — Par la mesure d'une longueur d'onde

Un haut-parleur émet un son sinusoïdal de fréquence $f = 4,00$ kHz. Les deux microphones, d'abord côte à côte, donnent des signaux en phase. On éloigne lentement M_2 du haut-parleur : les signaux se retrouvent en phase pour la dixième fois lorsque M_2 a été déplacé de $D = 85,6$ cm, mesuré sur une règle avec une incertitude-type $u(D) = 0,3$ cm.

- 1.3** Justifier que $D = 10\lambda$. En déduire la longueur d'onde λ , puis la célérité v du son.
- 1.4** Calculer l'incertitude-type $u(\lambda) = u(D)/10$. Quel est l'intérêt d'avoir mesuré dix longueurs d'onde ?
- 1.5** On admet que $u(v)/v = u(\lambda)/\lambda$ (l'incertitude sur f est négligeable). Calculer $u(v)$ et écrire le résultat de la mesure.
- 1.6** La valeur de référence dans l'air de la salle est $v_{\text{réf}} = 344 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Calculer l'écart normalisé $z = |v - v_{\text{réf}}|/u(v)$ et conclure (la mesure est jugée compatible si $z \leq 2$).

Exercice 2 Le sondeur du chalutier

●●○

Le sondeur d'un chalutier émet vers le bas de très brèves salves (0,2 ms) d'ultrasons de fréquence $f = 50$ kHz et détecte les échos renvoyés par les obstacles. La figure 2 montre le signal reçu après l'émission d'une salve à la date $t = 0$: écho d'un banc de poissons, puis écho du fond. Célérité des ultrasons dans l'eau de mer : $v = 1\,500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

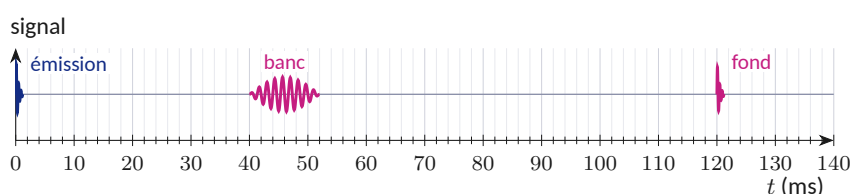
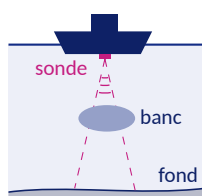


Figure 2 — Signal émis puis échos (banc : de 40 ms à 52 ms ; oscillations non à l'échelle)

- 2.1** Montrer que la profondeur p d'un obstacle est liée à la durée Δt entre l'émission et la réception de son écho par $p = v \Delta t / 2$.
- 2.2** Déterminer la profondeur du fond, puis celles du haut et du bas du banc. En déduire l'épaisseur du banc.
- 2.3** Calculer la longueur d'onde des ultrasons dans l'eau de mer.
- 2.4** Le sondeur n'émet une nouvelle salve qu'après avoir reçu l'écho du fond; il émet ici une salve toutes les 0,15 s. Jusqu'à quelle profondeur peut-il fonctionner? Au-dessus d'une fosse de 240 m, combien de salves par seconde peut-il émettre au maximum?

Exercice 3 À quelle distance a eu lieu le séisme ?



Lors d'un séisme, deux types d'ondes partent en même temps du foyer : les ondes P, longitudinales, de célérité $v_P = 6,0 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, et les ondes S, transversales, de célérité $v_S = 3,6 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ (valeurs moyennes dans la croûte). La figure 3 est le sismogramme d'une station des Alpes; les dates sont comptées à partir de 10 h 24 min 00 s.

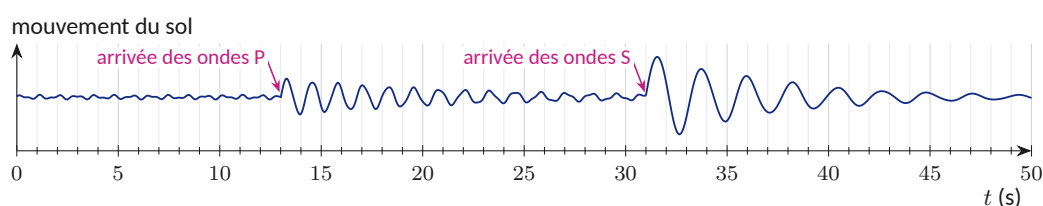


Figure 3 — Sismogramme de la station (composante verticale, stylisé)

- 3.1** Relever les dates d'arrivée t_P et t_S des deux ondes, puis calculer $\Delta t = t_S - t_P$.
- 3.2** On note t_0 la date du séisme et d la distance entre le foyer et la station. Exprimer t_P et t_S en fonction de t_0 , d , v_P et v_S . Montrer que $\Delta t = d \left(\frac{1}{v_S} - \frac{1}{v_P} \right)$, puis que $d = 9,0 \Delta t$ (d en km, Δt en s).
- 3.3** Calculer d , puis déterminer l'heure t_0 du séisme.
- 3.4** Pourquoi une seule station ne suffit-elle pas pour localiser l'épicentre? Comment trois stations le permettent-elles?

Exercice 4 Un télémètre à ultrasons programmé en Python



Un robot mesure sa distance à un obstacle avec un module qui émet une salve d'ultrasons de fréquence 40 kHz et mesure la durée Δt (en μs) entre l'émission et la réception de l'écho. Dans l'air, $v \approx 331,3 + 0,606 \theta$ (v en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, température θ en $^{\circ}\text{C}$). Le programme est testé avec trois durées.

```
1 theta = 20.0           # température de l'air (°C)
2 v = 331.3 + 0.606 * theta # célérité du son dans l'air (m/s)
3 durees = [1165, 2912, 5824] # durées mesurées (μs)
4 for dt in durees:
5     d = ...             # distance à l'obstacle (m)
6     print("distance :", round(100 * d, 1), "cm")
```

- 4.1** Calculer la longueur d'onde des ultrasons émis à 20 $^{\circ}\text{C}$. Pourquoi ne les entend-on pas?
- 4.2** Compléter la ligne 5 (justifier le facteur 2 et la puissance de 10). Qu'affiche le programme?
- 4.3** L'air est en fait à 30 $^{\circ}\text{C}$ (ligne 1 inchangée). Calculer la distance réelle pour $\Delta t = 5\,824 \mu\text{s}$. L'erreur est-elle gênante?
- 4.4** La portée du module est de 4,0 m. Quelle durée minimale faut-il attendre entre deux mesures pour qu'un écho ne soit pas confondu avec celui de la salve suivante?