BURHAN

# Ondes mécaniques progressives : exercices, entraînement

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

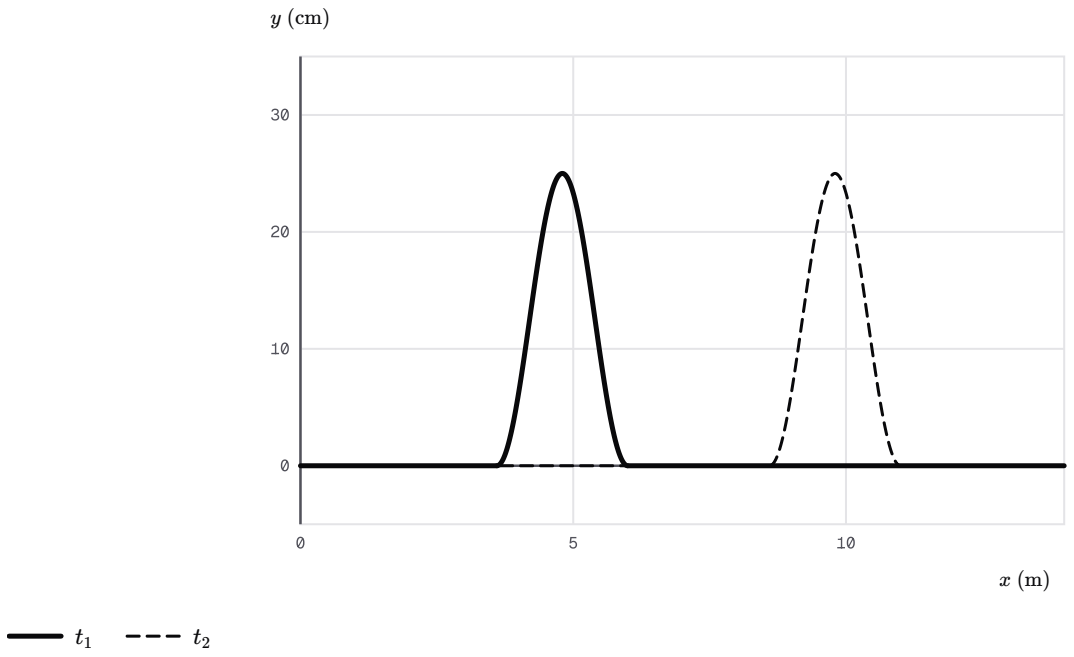
Version en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/ondes-mecaniques-progressives/exercices/entrainement

| Chapitre | Palier | Exercices |
| --- | --- | --- |
| Ondes mécaniques progressives | Entraînement | 7 |

### Exercice 1

## Câble de tyrolienne photographié à deux dates

Un moniteur frappe d'un coup sec l'ancrage d'une tyrolienne, en $x = 0$. Une caméra filme le câble ; le chronomètre de la vidéo démarre un peu avant le coup. Le document montre le câble à deux dates, $t_1 = 0{,}40\,\text{s}$ et $t_2 = 0{,}65\,\text{s}$.




**Aspect du câble aux dates t1 = 0,40 s et t2 = 0,65 s**

### 1.

Lis sur le document la position du front d'onde aux dates $t_1$ et $t_2$.

INDICE

**Outil :** le front d'onde est le point le plus éloigné de l'ancrage atteint par la secousse.

CORRIGÉ

Par lecture graphique, la bosse se termine, du côté opposé à l'ancrage, à $x_1 \approx 6{,}0\,\text{m}$ à la date $t_1$ et à $x_2 \approx 11{,}0\,\text{m}$ à la date $t_2$.

**Conclusion.** Le front est à environ $6{,}0\,\text{m}$, puis à environ $11{,}0\,\text{m}$ de l'ancrage.

### 2.

Calcule la célérité $v$ de la secousse.

INDICE

**Outil :** le front parcourt $x_2 - x_1$ pendant $t_2 - t_1$.

CORRIGÉ

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$
$$v = \frac{5{,}0\,\mathrm{m}}{0{,}25\,\mathrm{s}}$$
$$v = 20\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

**Conclusion.** La secousse avance à $20\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ le long du câble.

### 3.

Lis la longueur $\ell$ occupée par la secousse sur le câble. Déduis-en la durée $\Delta t_e$ du mouvement de l'ancrage.

INDICE

**Outil :** une perturbation de durée $\Delta t_e$ occupe la longueur $\ell = v\,\Delta t_e$.

CORRIGÉ

Par lecture, à la date $t_1$, la bosse va de $3{,}6\,\mathrm{m}$ à $6{,}0\,\mathrm{m}$ : $\ell \approx 2{,}4\,\mathrm{m}$.

$$\Delta t_e = \frac{\ell}{v}$$
$$\Delta t_e = \frac{2{,}4\,\mathrm{m}}{20\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}}$$
$$\Delta t_e = 0{,}12\,\mathrm{s}$$

**Conclusion.** L'ancrage a bougé pendant environ $0{,}12\,\mathrm{s}$.

### 4.

À quelle date $t_0$ le moniteur a-t-il frappé l'ancrage ?

INDICE

**Début :** à la date $t_1$, le front est parti de l'ancrage depuis la durée $\dfrac{x_1}{v}$.

CORRIGÉ

Le front a parcouru $x_1$ entre $t_0$ et $t_1$, à la célérité $v$ :

$$t_0 = t_1 - \frac{x_1}{v}$$
$$t_0 = 0{,}40\,\mathrm{s} - \frac{6{,}0\,\mathrm{m}}{20\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}}$$
$$t_0 = 0{,}10\,\mathrm{s}$$

**Conclusion.** Le coup a été donné à $t_0 = 0{,}10\,\mathrm{s}$ sur le chronomètre de la vidéo.

### 5.

Le câble mesure $32\,\mathrm{m}$. À quelle date le front atteint-il l'autre extrémité ?

INDICE

**Outil :** ajoute à $t_0$ la durée du parcours.

CORRIGÉ

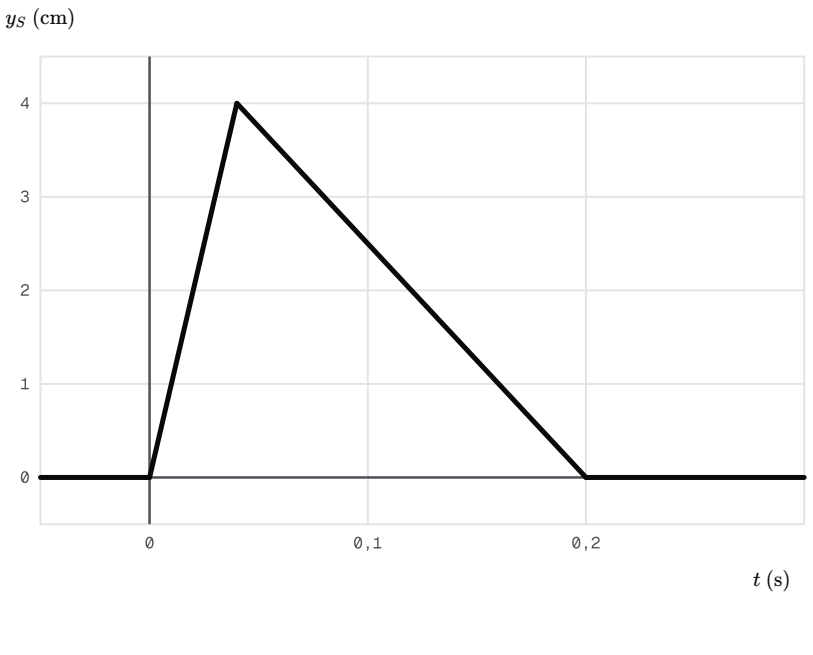
$$\begin{aligned} t_3 &= t_0 + \frac{L}{v} \\ t_3 &= 0{,}10\,\mathrm{s} \\ &\quad + \frac{32\,\mathrm{m}}{20\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}} \\ t_3 &= 1{,}7\,\mathrm{s} \end{aligned}$$

**Conclusion.** Le front atteint l'extrémité du câble à $t_3 = 1{,}7\,\mathrm{s}$.

### Exercice 2

## Sangle tendue : du signal de la source à l'aspect du milieu

Une sangle de $12\,\mathrm{m}$ est tendue entre deux arbres, à hauteur de genou. Un enfant donne un coup de pied vers le haut sur la sangle, en $S$, à la date $t = 0$. La secousse se propage à $v = 15\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$. Le document donne l'élongation $y_S(t)$ de $S$.




**Élongation de la source S de la sangle en fonction du temps**

### 1.

Lis sur le document la durée $\Delta t_e$ du mouvement de $S$, la date de son élongation maximale et la valeur de celle-ci.

INDICE

**Outil :** repère les dates où la courbe quitte l'axe, atteint son sommet, puis revient à l'axe.

CORRIGÉ

Par lecture graphique, $S$ bouge de $t = 0$ à $t \approx 0{,}20\,\mathrm{s}$ : $\Delta t_e \approx 0{,}20\,\mathrm{s}$. Le sommet est atteint à $t \approx 0{,}04\,\mathrm{s}$, avec $y_S \approx 4{,}0\,\mathrm{cm}$.

**Conclusion.** La source monte vite, en $0{,}04\,\mathrm{s}$, puis redescend lentement jusqu'à $0{,}20\,\mathrm{s}$.

### 2.

À la date $t = 0{,}50\,\mathrm{s}$, calcule la position $x_F$ du front d'onde, puis la longueur $\ell$ de sangle occupée par la secousse.

INDICE

**Outil :** $x_F = v\,t$ et $\ell = v\,\Delta t_e$.

CORRIGÉ

$$\begin{aligned} x_F &= v\,t \\ x_F &= 15\,\mathrm{m\cdot s^{-1}} \\ &\quad \times 0{,}50\,\mathrm{s} \\ x_F &= 7{,}5\,\mathrm{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ell &= v\,\Delta t_e \\ \ell &= 15\,\mathrm{m\cdot s^{-1}} \\ &\quad \times 0{,}20\,\mathrm{s} \\ \ell &= 3{,}0\,\mathrm{m} \end{aligned}$$

**Conclusion.** À $0{,}50\,\mathrm{s}$, la secousse occupe la sangle entre $x = 4{,}5\,\mathrm{m}$ et $x = 7{,}5\,\mathrm{m}$.

### 3.

À la même date, où se trouve le point de la sangle dont l'élongation est maximale ?

INDICE

**Début :** ce point reproduit le sommet émis par $S$ à $0{,}04\,\mathrm{s}$. **Ensuite :** cherche la distance parcourue depuis.

CORRIGÉ

Le sommet a été émis à $0{,}04\,\mathrm{s}$. À $t = 0{,}50\,\mathrm{s}$, il voyage depuis $0{,}46\,\mathrm{s}$ :

$$\begin{aligned} x_m &= v\,(t - 0{,}04\,\mathrm{s}) \\ x_m &= 15\,\mathrm{m\cdot s^{-1}} \\ &\quad \times 0{,}46\,\mathrm{s} \\ x_m &\approx 6{,}9\,\mathrm{m} \end{aligned}$$

**Conclusion.** Le point d'élongation maximale est à environ $6{,}9\,\mathrm{m}$ de $S$, à $0{,}6\,\mathrm{m}$ seulement du front.

### 4.

Décris l'aspect de la sangle à la date $t = 0{,}50\,\mathrm{s}$, de la source vers le front.

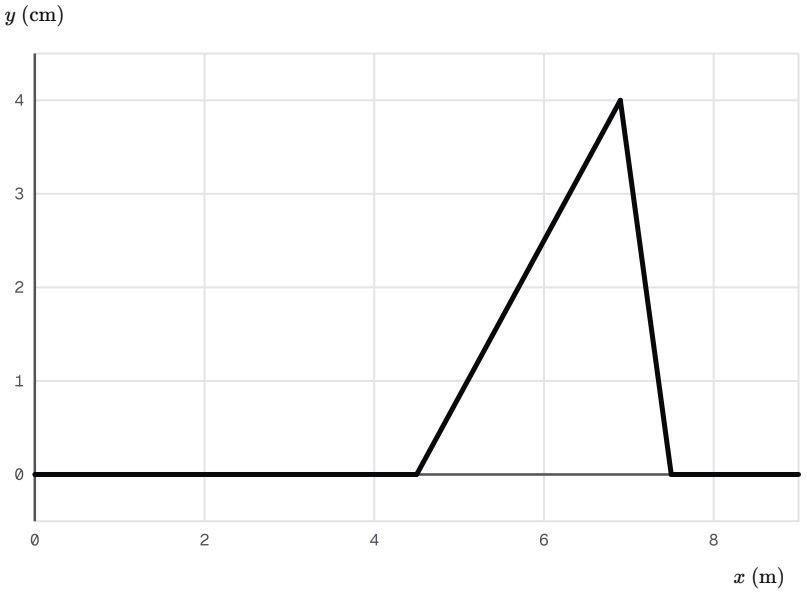
INDICE

**Point délicat :** le début du signal émis est au front ; ne recopie pas la courbe $y_S(t)$.

CORRIGÉ

Le point de la sangle situé en $x$ reproduit l'élongation de la source à la date $t - \dfrac{x}{v}$. Le début du signal, la montée rapide, est donc au front ; la fin du signal, la descente lente, est du côté de $S$.

**Conclusion.** De $S$ vers le front : sangle au repos jusqu'à $4{,}5\,\mathrm{m}$, montée lente jusqu'à $4{,}0\,\mathrm{cm}$ vers $6{,}9\,\mathrm{m}$, puis chute brusque jusqu'au front, à $7{,}5\,\mathrm{m}$.




**Aspect de la sangle à la date t = 0,50 s**

### 5.

Un point $M$ de la sangle est à $SM = 6{,}0\,\mathrm{m}$. Donne les dates de début et de fin de son mouvement, puis son élongation à $t = 0{,}50\,\mathrm{s}$.

INDICE

**Outil :** $y_M(t) = y_S(t - \tau)$, avec $\tau = \dfrac{SM}{v}$.

CORRIGÉ

**Retard.** $\tau = \dfrac{SM}{v} = \dfrac{6{,}0\,\mathrm{m}}{15\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}} = 0{,}40\,\mathrm{s}$. Le point $M$ bouge de $0{,}40\,\mathrm{s}$ à $0{,}40\,\mathrm{s} + 0{,}20\,\mathrm{s} = 0{,}60\,\mathrm{s}$.

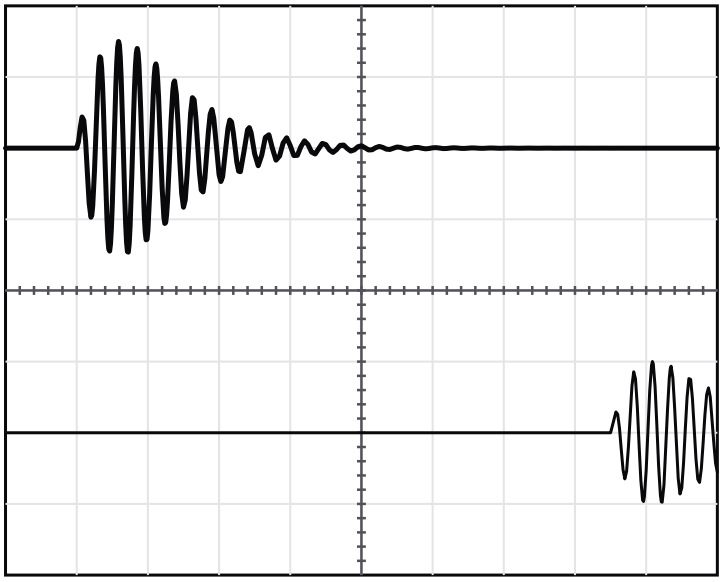
**Élongation.** À $t = 0{,}50\,\mathrm{s}$, $y_M = y_S(0{,}10\,\mathrm{s})$. Sur le document, à $0{,}10\,\mathrm{s}$, la source redescend : $y_S \approx 2{,}5\,\mathrm{cm}$.

**Conclusion.** À $0{,}50\,\mathrm{s}$, le point $M$ est à environ $2{,}5\,\mathrm{cm}$ au-dessus de sa position de repos, et il redescend.

### Exercice 3

## Ultrasons dans une cuve d'eau : retard, célérité et montage

Dans une cuve remplie d'eau, un émetteur envoie des salves d'ultrasons. Deux récepteurs $R_1$ et $R_2$, immergés et alignés avec l'émetteur, sont distants de $d = 22{,}5\,\text{cm}$. Le document est l'oscillogramme obtenu, avec un balayage $b = 20\,\mu\text{s/div}$.



Voie $Y_1$ : 0,2 V/div, zéro 2 divisions au-dessus du centre
Voie $Y_2$ : 0,2 V/div, zéro 2 divisions au-dessous du centre  Balayage : 20 $\mu$s/div

**Salves reçues par les deux récepteurs ; balayage de 20 microsecondes par division**

#### 1.

Lis l'écart $n$ entre les débuts des deux salves et déduis-en le retard $\tau$ de $R_2$ sur $R_1$, en secondes.

INDICE

**Outil :** $\tau = n \times b$, puis $1\,\mu\text{s} = 10^{-6}\,\text{s}$.

CORRIGÉ

Par lecture, les salves commencent à $1{,}0\,\text{div}$ et à $8{,}5\,\text{div}$ : $n \approx 7{,}5\,\text{div}$.

$$\begin{aligned} \tau &= n \times b \\ \tau &= 7{,}5\,\text{div} \\ &\quad \times 20\,\mu\text{s/div} \\ \tau &\approx 1{,}5 \times 10^{2}\,\mu\text{s} \end{aligned}$$

**Conclusion.** Le retard vaut environ $150\,\mu\text{s}$, soit $1{,}5 \times 10^{-4}\,\text{s}$.

### 2.

Calcule la célérité $v$ des ultrasons dans l'eau.

INDICE

**Outil :** convertis $d$ en mètres, puis $v = \dfrac{d}{\tau}$.

CORRIGÉ

Avec $d = 0{,}225\,\mathrm{m}$ :

$$\begin{aligned} v &= \frac{d}{\tau} \\ v &= \frac{0{,}225\,\mathrm{m}}{1{,}5 \times 10^{-4}\,\mathrm{s}} \\ v &\approx 1{,}5 \times 10^{3}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}} \end{aligned}$$

**Conclusion.** Les ultrasons se propagent dans l'eau à environ $1{,}5 \times 10^{3}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

### 3.

La lecture de $n$ est sûre à $0{,}2\,\mathrm{div}$ près. Encadre $v$, puis dis si la valeur de référence $1\,480\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ est compatible avec la mesure.

INDICE

**Début :** encadre d'abord $n$, puis $\tau$. **Point délicat :** le plus petit retard donne la plus grande célérité.

CORRIGÉ

**Retard.** $7{,}3\,\mathrm{div} \le n \le 7{,}7\,\mathrm{div}$, donc $146\,\mu\mathrm{s} \le \tau \le 154\,\mu\mathrm{s}$.

**Célérité.** $v$ va de $\dfrac{0{,}225}{154 \times 10^{-6}} \approx 1\,461\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ à $\dfrac{0{,}225}{146 \times 10^{-6}} \approx 1\,541\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

**Conclusion.** La valeur de référence $1\,480\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ est dans l'encadrement : elle est compatible avec la mesure.

### 4.

Décris le montage qui a fourni ce document : éléments, positions, branchements.

INDICE

**Outil :** quel appareil affiche deux signaux à la fois ? Que faut-il brancher sur chacune de ses voies ?

CORRIGÉ

- **Émetteur** d'ultrasons fonctionnant en salves, immergé à une extrémité de la cuve, relié à son générateur.
- **Récepteurs** $R_1$ et $R_2$ immergés, alignés avec l'émetteur, $R_2$ plus loin que $R_1$, à $22{,}5\,\mathrm{cm}$ de lui.
- **Oscilloscope** à deux voies : $R_1$ sur la voie $Y_1$, $R_2$ sur la voie $Y_2$, masses communes.
- **Règle** graduée pour mesurer $d = R_1R_2$.

**Conclusion.** Chaque récepteur envoie son signal sur une voie : le décalage des deux salves à l'écran est le retard de $R_2$ sur $R_1$.

### 5.

Propose un protocole qui donne une valeur plus précise de $v$, à partir de plusieurs mesures.

INDICE

**Outil :** quelle grandeur fais-tu varier pour obtenir plusieurs retards ?

CORRIGÉ

- Placer $R_1$ et $R_2$ côte à côte : les deux salves commencent alors au même instant.
- Éloigner $R_2$ de $R_1$, le long de l'axe de l'émetteur, de $5\,\text{cm}$ en $5\,\text{cm}$, jusqu'à environ $30\,\text{cm}$.
- Pour chaque distance $d$, lire le retard $\tau$, avec le plus petit balayage qui garde les deux salves à l'écran.
- Tracer $d$ en fonction de $\tau$ et la droite de modélisation passant par l'origine.

**Conclusion.** La pente de cette droite donne $v$ : elle moyenne plusieurs mesures et réduit l'effet d'une erreur de lecture isolée.

### Exercice 4

## Séisme : ondes P et S reçues par une station

Un séisme émet en même temps, depuis son foyer, des ondes P et des ondes S. Une station sismique les enregistre ; les dates sont comptées à partir de $8\,\mathrm{h}\,15\,\mathrm{min}\,00\,\mathrm{s}$.

**Document.** Données relevées par la station.

| Onde | Célérité | Date d'arrivée |
|---|---|---|
| P | $v_P = 6{,}0\,\mathrm{km\cdot s^{-1}}$ | $t_P = 42\,\mathrm{s}$ |
| S | $v_S = 3{,}5\,\mathrm{km\cdot s^{-1}}$ | $t_S = 62\,\mathrm{s}$ |

### 1.

Au passage des ondes P, le sol est poussé puis tiré dans l'axe qui le relie au foyer. Au passage des ondes S, il bouge en travers de cet axe. Précise la nature, transversale ou longitudinale, de chaque onde.

INDICE

**Outil :** compare la direction du mouvement du sol à celle de la propagation, du foyer vers la station.

CORRIGÉ

**Ondes P.** Le sol bouge dans la direction de propagation : les ondes P sont longitudinales.

**Ondes S.** Le sol bouge perpendiculairement à la propagation : les ondes S sont transversales.

**Conclusion.** Les ondes P sont longitudinales et les ondes S transversales.

### 2.

Explique pourquoi les ondes P arrivent les premières à la station.

INDICE

**Outil :** les deux ondes parcourent la même distance.

CORRIGÉ

Les deux ondes partent ensemble et parcourent la même distance $d$. La durée du parcours vaut $\dfrac{d}{v}$ : elle est plus courte pour l'onde la plus rapide.

**Conclusion.** Comme $v_P > v_S$, les ondes P arrivent avant les ondes S.

### 3.

On note $\Delta t = t_S - t_P$. On admet que la distance $d$ entre le foyer et la station vérifie :

$$d = \frac{\Delta t \, v_P \, v_S}{v_P - v_S}$$

Calcule $d$.

INDICE

**Outil :** calcule d'abord $\Delta t$ ; les célérités sont en $\mathrm{km \cdot s^{-1}}$, la distance sort en kilomètres.

CORRIGÉ

Avec $\Delta t = 62\,\mathrm{s} - 42\,\mathrm{s} = 20\,\mathrm{s}$ :

$$\begin{aligned} v_P - v_S &= 2{,}5\,\mathrm{km \cdot s^{-1}} \\ \frac{v_P \, v_S}{v_P - v_S} &= 8{,}4\,\mathrm{km \cdot s^{-1}} \\ d &= 20\,\mathrm{s} \\ &\quad \times 8{,}4\,\mathrm{km \cdot s^{-1}} \\ d &\approx 1{,}7 \times 10^{2}\,\mathrm{km} \end{aligned}$$

**Conclusion.** Le foyer est à environ $170\,\mathrm{km}$ de la station (valeur non arrondie : $168\,\mathrm{km}$).

### 4.

À quelle heure le séisme s'est-il produit ?

INDICE

**Outil :** les ondes P ont voyagé pendant $\dfrac{d}{v_P}$ avant d'arriver à $t_P$. Garde la valeur non arrondie de $d$.

CORRIGÉ

Durée du trajet des ondes P :

$$\begin{aligned} \frac{d}{v_P} &= \frac{168\,\mathrm{km}}{6{,}0\,\mathrm{km \cdot s^{-1}}} \\ \frac{d}{v_P} &= 28\,\mathrm{s} \end{aligned}$$

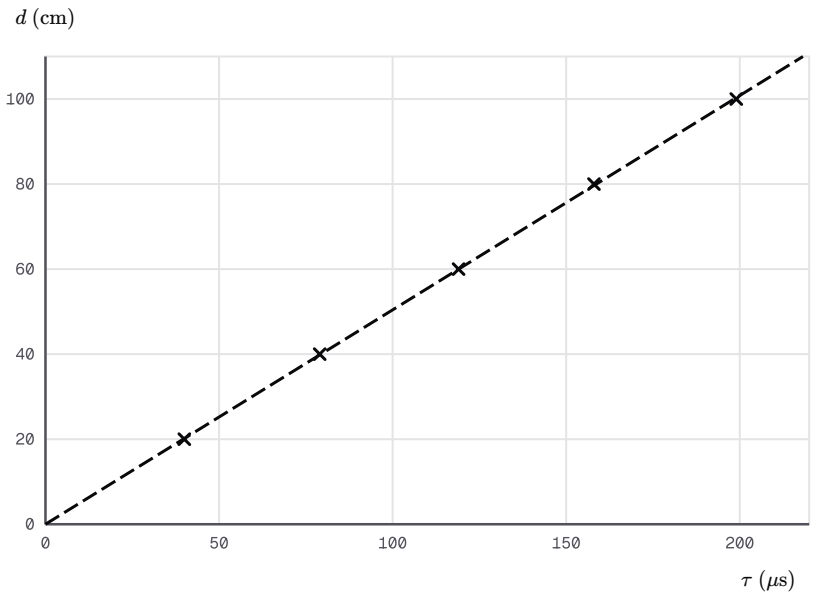
Le séisme a donc eu lieu à $t_0 = 42\,\mathrm{s} - 28\,\mathrm{s} = 14\,\mathrm{s}$ après l'origine des dates.

**Conclusion.** Le séisme s'est produit vers 8 h 15 min 14 s.

### Exercice 5

## Tige d'aluminium : série de mesures et droite de modélisation

On frappe l'extrémité d'une longue tige d'aluminium, dans son axe. Deux capteurs fixés sur la tige enregistrent le passage de la compression ; on mesure le retard $\tau$ du second capteur sur le premier pour plusieurs distances $d$ entre eux. Le document présente les mesures et la droite de modélisation.




× Points de mesure — — Droite de modélisation

**Distance d entre les capteurs en fonction du retard mesuré**

### 1.

Justifie que, d'après la relation entre $d$ et $\tau$, les points de mesure doivent se placer sur une droite passant par l'origine.

INDICE

**Outil :** la relation entre retard, distance et célérité, pour une célérité constante.

CORRIGÉ

Dans la tige, milieu homogène, la célérité $v$ est constante et $d = v \cdot \tau$. La distance est proportionnelle au retard.

**Conclusion.** La représentation de $d$ en fonction de $\tau$ est une droite qui passe par l'origine, de pente $v$.

### 2.

Détermine la pente $a$ de la droite de modélisation, en $\mathrm{cm}\cdot\mu\mathrm{s}^{-1}$.

INDICE

**Outil :** lis sur la droite, et non sur un point de mesure, un point éloigné de l'origine.

CORRIGÉ

Par lecture graphique, la droite passe par l'origine et par le point $\tau = 200\,\mu\mathrm{s}$, $d \approx 100\,\mathrm{cm}$.

$$a = \frac{100\,\mathrm{cm}}{200\,\mu\mathrm{s}}$$
$$a \approx 0{,}50\,\mathrm{cm}\cdot\mu\mathrm{s}^{-1}$$

**Conclusion.** La pente vaut environ $0{,}50\,\mathrm{cm}\cdot\mu\mathrm{s}^{-1}$ : une lecture graphique ne donne que deux chiffres significatifs.

### 3.

Déduis-en la célérité $v$ de l'onde dans la tige, en $\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$.

INDICE

**Point délicat :** $1\,\mathrm{cm} = 10^{-2}\,\mathrm{m}$ et $1\,\mu\mathrm{s} = 10^{-6}\,\mathrm{s}$.

CORRIGÉ

La pente est la célérité. On convertit :

$$v = 0{,}50 \times \frac{10^{-2}\,\mathrm{m}}{10^{-6}\,\mathrm{s}}$$
$$v \approx 5{,}0 \times 10^{3}\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

**Conclusion.** L'onde se propage dans la tige à environ $5{,}0 \times 10^{3}\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$.

### 4.

Une table donne $5{,}10 \times 10^{3}\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$ pour cette onde dans l'aluminium. Calcule l'écart relatif entre la mesure et cette valeur.

INDICE

**Outil :** écart relatif $= \dfrac{|v_{\mathrm{ref}} - v|}{v_{\mathrm{ref}}}$.

CORRIGÉ

$$e = \frac{5{,}10 - 5{,}0}{5{,}10}$$
$$e \approx 2 \times 10^{-2}$$

**Conclusion.** L'écart relatif vaut environ $2\,\%$ : la mesure est en bon accord avec la valeur de la table.

### 5.

Pourquoi a-t-on fait cinq mesures au lieu d'une seule ?

INDICE

**Outil :** pense aux erreurs de lecture et de positionnement des capteurs.

CORRIGÉ

Chaque mesure porte une petite erreur : position des capteurs, lecture du retard. Les points s'écartent un peu de la droite. La droite de modélisation passe au mieux parmi tous les points et compense ces erreurs.

**Conclusion.** Plusieurs mesures donnent une célérité plus fiable qu'une mesure isolée, et l'alignement des points vérifie la relation $d = v \cdot \tau$.

### Exercice 6

## Conduite d'eau sondée par écho : position d'un obstacle

Pour sonder une conduite d'eau de longueur $L = 290\,\mathrm{m}$, un technicien envoie un signal sonore bref depuis une extrémité. Il capte au même endroit deux échos : l'un renvoyé par un dépôt qui rétrécit la conduite, l'autre par l'extrémité fermée.

**Document.** Durées entre l'émission et la réception.

| Écho | Durée |
|---|---|
| renvoyé par le dépôt | $\Delta t_2 = 0{,}160\,\mathrm{s}$ |
| renvoyé par l'extrémité | $\Delta t_1 = 0{,}400\,\mathrm{s}$ |

### 1.

Explique pourquoi le technicien reçoit deux échos, et lequel arrive le premier.

INDICE

**Outil :** le dépôt ne bouche pas toute la conduite.

CORRIGÉ

Le dépôt renvoie une partie du signal ; le reste continue jusqu'à l'extrémité fermée, qui le renvoie à son tour. Le dépôt est plus proche de l'émetteur que l'extrémité.

**Conclusion.** L'écho du dépôt arrive le premier, puis celui de l'extrémité.

### 2.

Montre que la célérité du son dans l'eau de la conduite vérifie $v = \dfrac{2L}{\Delta t_1}$, puis calcule-la.

INDICE

**Outil :** pendant $\Delta t_1$, le signal fait l'aller et le retour sur toute la longueur.

CORRIGÉ

Pendant $\Delta t_1$, le signal fait l'aller et le retour sur toute la conduite : il parcourt $2L$ à la célérité $v$, soit $2L = v\,\Delta t_1$, d'où la relation.

$$v = \frac{2L}{\Delta t_1}$$
$$v = \frac{2 \times 290\,\mathrm{m}}{0{,}400\,\mathrm{s}}$$
$$v = 1{,}45 \times 10^{3}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

**Conclusion.** Le son se propage dans l'eau de la conduite à $1{,}45 \times 10^{3}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

### 3.

Calcule la distance $d$ entre l'émetteur et le dépôt.

INDICE

**Outil :** même raisonnement, avec $\Delta t_2$.

CORRIGÉ

$$\begin{aligned} 2d &= v\,\Delta t_2 \\ 2d &= 1\,450\,\mathrm{m\cdot s^{-1}} \\ &\quad \times 0{,}160\,\mathrm{s} \\ 2d &= 232\,\mathrm{m} \\ d &= 116\,\mathrm{m} \end{aligned}$$

**Conclusion.** Le dépôt est à $116\,\mathrm{m}$ de l'extrémité où se trouve le technicien.

### 4.

Retrouve $d$ sans utiliser la valeur de $v$.

INDICE

**Début :** écris $2d = v\,\Delta t_2$ et $2L = v\,\Delta t_1$, puis fais le quotient.

CORRIGÉ

Le quotient des deux relations élimine $v$ : $\dfrac{d}{L} = \dfrac{\Delta t_2}{\Delta t_1}$.

$$\begin{aligned} d &= L\,\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} \\ d &= 290\,\mathrm{m} \times \frac{0{,}160\,\mathrm{s}}{0{,}400\,\mathrm{s}} \\ d &= 116\,\mathrm{m} \end{aligned}$$

**Conclusion.** On retrouve $d = 116\,\mathrm{m}$ : les distances sont proportionnelles aux durées des échos.

### Exercice 7

## Rail frappé : deux sons et la longueur du rail

Sur une voie ferrée désaffectée, Youssef frappe au marteau, dans l'axe du rail, une extrémité d'un rail rectiligne. À l'autre extrémité, Imane colle l'oreille au rail : elle entend deux sons, l'un transmis par le rail, l'autre par l'air.

**Document.** Données.

| Grandeur | Valeur |
|---|---|
| célérité du son dans l'air | $v_a = 344\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ |
| célérité du son dans l'acier du rail | $v_r = 5{,}20\times10^{3}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ |
| écart entre les deux sons | $\Delta t = 0{,}420\,\mathrm{s}$ |

### 1.

Précise la nature de l'onde qui parcourt le rail et celle du son dans l'air.

INDICE

**Outil :** le coup est donné dans l'axe du rail.

CORRIGÉ

Le marteau comprime le métal dans l'axe du rail, qui est la direction de propagation : l'onde dans le rail est longitudinale. Le son dans l'air est aussi une onde longitudinale.

**Conclusion.** Les deux ondes sont longitudinales.

### 2.

Quel son Imane entend-elle en premier ? Justifie.

INDICE

**Outil :** même longueur, célérités différentes.

CORRIGÉ

Les deux sons parcourent la même longueur $L$. Le son du rail va environ quinze fois plus vite que celui de l'air : sa durée de parcours est plus courte.

**Conclusion.** Imane entend d'abord le son transmis par le rail.

### 3.

Montre que la longueur du rail vérifie $L = \dfrac{\Delta t\, v_a\, v_r}{v_r - v_a}$.

INDICE

**Début :** $\Delta t = \dfrac{L}{v_a} - \dfrac{L}{v_r}$.

CORRIGÉ

L'écart entre les deux sons est la différence des durées de parcours :

$$\Delta t = \frac{L}{v_a} - \frac{L}{v_r}$$
$$\Delta t = L\,\frac{v_r - v_a}{v_a\, v_r}$$

**Conclusion.** En isolant $L$, on obtient $L = \dfrac{\Delta t\, v_a\, v_r}{v_r - v_a}$.

### 4.

Calcule $L$.

INDICE

**Outil :** remplace, toutes les grandeurs étant en unités du système international.

CORRIGÉ

$$v_r - v_a = 4\,856\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$$
$$\frac{v_a\, v_r}{v_r - v_a} \approx 368\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$$
$$L = 0{,}420\,\mathrm{s} \times 368\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$$
$$L \approx 155\,\mathrm{m}$$

**Conclusion.** Le rail mesure environ $155\,\mathrm{m}$.

### 5.

L'oreille ne mesure pas une durée. Propose un moyen de mesurer l'écart $\Delta t$ entre les deux sons.

INDICE

**Outil :** quel capteur transforme un son en un signal que l'on peut enregistrer ?

CORRIGÉ

- Placer un microphone contre le rail, à l'extrémité opposée au marteau, et le relier à une interface d'acquisition.
- Déclencher l'enregistrement avant le coup de marteau.
- Sur l'enregistrement, repérer le début de chacun des deux signaux reçus et lire l'écart entre ces deux dates.

**Conclusion.** L'écart entre les débuts des deux signaux enregistrés donne $\Delta t$, bien plus précisément qu'à l'oreille.