BURHAN

Ondes mécaniques progressives : exercices, niveau examen

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

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

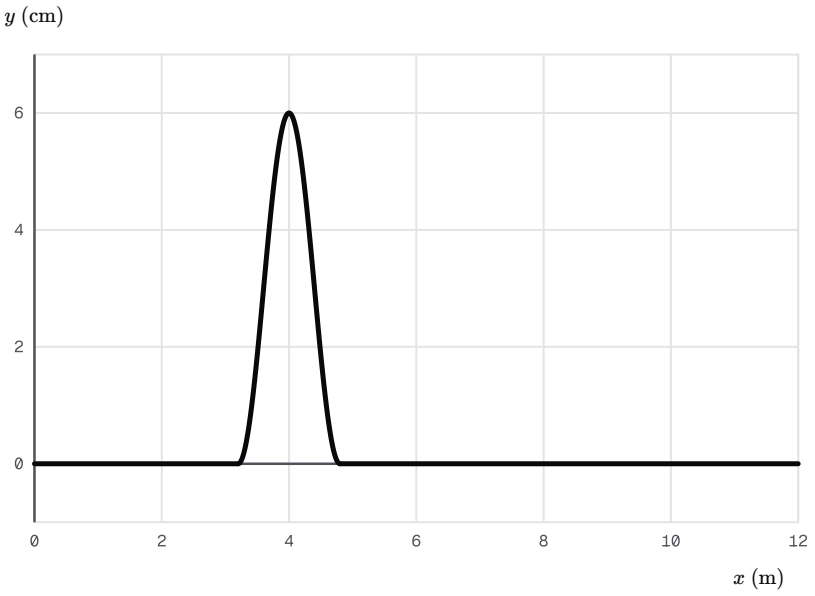
Chapitre	Palier	Exercices
Ondes mécaniques progressives	Niveau examen	5

Exercice 1 — 6 pts

Corde de gymnase : aspect, célérité et mouvement d'un point

Lors d'un entraînement, une corde de gymnase est tendue entre deux espaliers, de l'extrémité S à l'extrémité fixe B, avec $SB = 12\,\text{m}$. À la date $t = 0$, un entraîneur donne à l'extrémité S une brève secousse verticale. On néglige tout amortissement.

Document 1. Aspect de la corde à la date $t_1 = 0{,}60\,\text{s}$; x est la distance à S.



Aspect de la corde à la date t1 = 0,60 s

A.1. — 0,5 pts

Partie A : aspect de la corde à une date

L'onde qui parcourt la corde est-elle transversale ou longitudinale ? Justifie.

INDICE

Outil : compare la direction du déplacement des points de la corde à celle de la propagation.

CORRIGÉ

Les points de la corde se déplacent verticalement, alors que la perturbation se propage le long de la corde, horizontalement.

Conclusion. Les deux directions sont perpendiculaires : l'onde est transversale.

A.2. 0,75 pts

Lis sur le document 1 la position x_F du front d'onde à la date t_1. Déduis-en la célérité v de l'onde.

INDICE

Outil : le front est l'extrémité de la bosse la plus éloignée de S ; il est parti de S à $t = 0$.

CORRIGÉ

Par lecture graphique, $x_F \approx 4{,}8\,\text{m}$. Le front a parcouru cette distance entre 0 et t_1 :

$$v = \frac{x_F}{t_1}$$
$$v = \frac{4{,}8\,\text{m}}{0{,}60\,\text{s}}$$
$$v = 8{,}0\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Conclusion. L'onde se propage le long de la corde à $8{,}0\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

A.3. 0,75 pts

Lis la longueur ℓ de corde occupée par la perturbation, puis calcule la durée Δt_e de la secousse.

INDICE

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

CORRIGÉ

Par lecture, la bosse va de $3{,}2\,\text{m}$ à $4{,}8\,\text{m}$: $\ell \approx 1{,}6\,\text{m}$.

$$\Delta t_e = \frac{\ell}{v}$$
$$\Delta t_e = \frac{1{,}6\,\text{m}}{8{,}0\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$$
$$\Delta t_e = 0{,}20\,\text{s}$$

Conclusion. La secousse de l'entraîneur a duré $0{,}20\,\text{s}$.

A.4. 0,75 pts

Un point P de la corde est à $6{,}4\,\text{m}$ de S. À quelle date P commence-t-il à bouger ? À quelle date retrouve-t-il le repos ?

INDICE

Début : calcule le retard de P sur S. **Ensuite :** P bouge pendant la même durée que S.

CORRIGÉ

Retard de P. $\tau_P = \dfrac{SP}{v} = \dfrac{6{,}4\,\text{m}}{8{,}0\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}} = 0{,}80\,\text{s}$.

Fin du mouvement. P reproduit la secousse de S, qui dure $0{,}20\,\text{s}$: il bouge jusqu'à $0{,}80\,\text{s} + 0{,}20\,\text{s} = 1{,}00\,\text{s}$.

Conclusion. P commence à bouger à $0{,}80\,\text{s}$ et retrouve le repos à $1{,}00\,\text{s}$.

B.1. 0,5 pts

Partie B : mouvement d'un point de la corde

L'entraîneur tend davantage la corde ; la célérité augmente et vaut maintenant $v' = 12\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$. Il reproduit le même geste : S bouge de $t = 0$ à $t = 0{,}20\,\mathrm{s}$, en une bosse symétrique d'amplitude $6{,}0\,\mathrm{cm}$, maximale à $t = 0{,}10\,\mathrm{s}$. Un point M est à $SM = 3{,}0\,\mathrm{m}$ de S.

Le changement de célérité est-il cohérent avec ce que l'entraîneur a modifié ? Justifie.

INDICE

Outil : de quoi dépend la célérité sur une corde ?

CORRIGÉ

La célérité dépend du milieu, et non du geste. Sur une corde, elle augmente quand la tension augmente. L'entraîneur a tendu la corde.

Conclusion. L'augmentation de la célérité est cohérente : la corde est plus tendue.

B.2. 1,25 pts

Montre que le retard de M sur S vaut $\tau = 0{,}25\,\mathrm{s}$. Déduis-en, avec la relation $y_M(t) = y_S(t-\tau)$, l'intervalle de temps pendant lequel M est en mouvement.

INDICE

Début : la relation $d = v\cdot\tau$, avec la nouvelle célérité. **Ensuite :** $y_M(t)$ n'est pas nulle quand $t-\tau$ est dans l'intervalle où S bouge.

CORRIGÉ

Retard.

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{SM}{v'}\\ \tau &= \frac{3{,}0\,\mathrm{m}}{12\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}}\\ \tau &= 0{,}25\,\mathrm{s}\end{aligned}$$

Dates. $y_M(t) = y_S(t-\tau)$ n'est pas nulle quand $0 \le t-\tau \le 0{,}20\,\mathrm{s}$, soit $\tau \le t \le \tau + 0{,}20\,\mathrm{s}$.

Conclusion. Le point M bouge de $t = 0{,}25\,\mathrm{s}$ à $t = 0{,}45\,\mathrm{s}$.

B.3. 0,75 pts

À quelle date l'élongation de M est-elle maximale ? Quelle est alors sa valeur ?

INDICE

Outil : M atteint son maximum avec le retard τ sur celui de S.

CORRIGÉ

L'élongation de S est maximale à $0{,}10\,\mathrm{s}$ et vaut $6{,}0\,\mathrm{cm}$. D'après $y_M(t) = y_S(t-\tau)$, celle de M l'est à $0{,}10\,\mathrm{s} + 0{,}25\,\mathrm{s} = 0{,}35\,\mathrm{s}$, sans amortissement.

Conclusion. L'élongation de M est maximale à $t = 0{,}35\,\mathrm{s}$ et vaut $6{,}0\,\mathrm{cm}$.

B.4. `0,75 pts`

À la date $t = 0{,}35\,\text{s}$, détermine la portion de corde en mouvement. Vérifie que M en occupe le milieu.

INDICE

Début : place le front, puis la fin de la perturbation, $v'\,\Delta t_e$ en arrière.

CORRIGÉ

Front. $x_F = v'\,t = 12\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1} \times 0{,}35\,\text{s} = 4{,}2\,\text{m}$.

Fin de la perturbation. $x_F - v'\,\Delta t_e = 4{,}2\,\text{m} - 2{,}4\,\text{m} = 1{,}8\,\text{m}$.

Milieu. $\dfrac{1{,}8\,\text{m} + 4{,}2\,\text{m}}{2} = 3{,}0\,\text{m}$, c'est la position de M : la bosse est symétrique, son sommet est au milieu, et M est bien à son maximum.

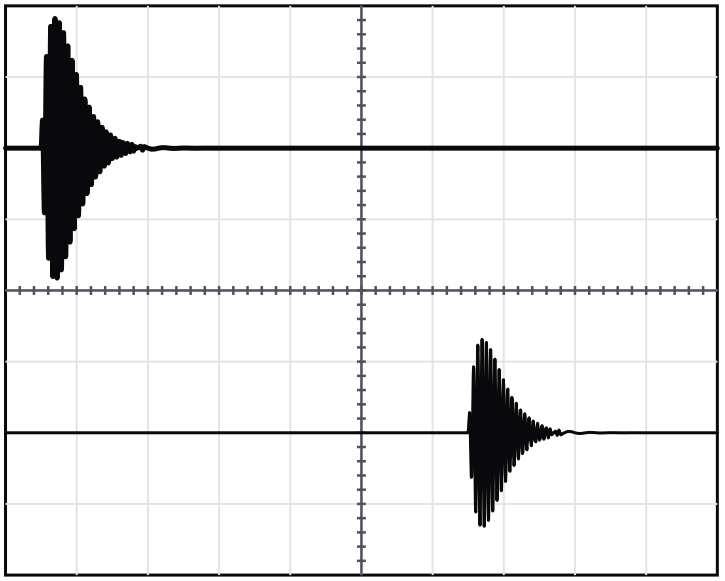
Conclusion. À $0{,}35\,\text{s}$, la corde bouge entre $1{,}8\,\text{m}$ et $4{,}2\,\text{m}$ de S, et M en occupe le milieu.

Exercice 2 6 pts

Télémètre de recul : écho, balayage et précision

Le télémètre de recul d'une voiture contient un émetteur et un récepteur d'ultrasons, côte à côte dans le pare-chocs. L'émetteur envoie une salve ; le récepteur capte l'écho renvoyé par un obstacle. On prend la célérité des ultrasons dans l'air $v = 346\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$.

Document 1. Oscillogramme : voie Y_1, salve émise ; voie Y_2, écho reçu ; balayage $b = 0{,}50\,\mathrm{ms/div}$.



Voie Y_1 : 0,1 V/div, zéro 2 divisions au-dessus du centre

Voie Y_2 : 0,1 V/div, zéro 2 divisions au-dessous du centre Balayage : 0,5 ms/div

Salve émise et écho reçu ; balayage de 0,50 ms par division

A.1. 0,5 pts

Partie A : distance d'un obstacle

Les ultrasons sont-ils une onde mécanique ? Sont-ils une onde transversale ou longitudinale ? Le télémètre fonctionnerait-il dans le vide ?

INDICE

Outil : les ultrasons sont des sons que l'oreille ne perçoit pas.

CORRIGÉ

Les ultrasons sont, comme le son, une onde mécanique longitudinale : les tranches d'air avancent et reculent dans la direction de propagation. Une onde mécanique a besoin d'un milieu matériel.

Conclusion. Dans le vide, aucun écho ne reviendrait : le télémètre ne fonctionnerait pas.

A.2. 0,5 pts

Lis sur le document 1 la durée Δt entre l'émission de la salve et la réception de l'écho.

INDICE

Outil : compte les divisions entre les débuts des deux salves, puis multiplie par b.

CORRIGÉ

Par lecture, la salve émise commence à $0{,}5\,\text{div}$ et l'écho à $6{,}5\,\text{div}$: $n \approx 6{,}0\,\text{div}$.

$$\begin{aligned}\Delta t &= n \times b \\ \Delta t &= 6{,}0\,\text{div} \\ &\quad \times 0{,}50\,\text{ms/div} \\ \Delta t &\approx 3{,}0\,\text{ms}\end{aligned}$$

Conclusion. L'écho revient environ $3{,}0\,\text{ms}$ après l'émission.

A.3. 0,5 pts

Montre que la distance d entre le pare-chocs et l'obstacle vérifie $2d = v\,\Delta t$.

INDICE

Outil : combien de fois la salve parcourt-elle la distance d pendant Δt ?

CORRIGÉ

L'émetteur et le récepteur sont au même endroit. Pendant Δt, la salve parcourt l'aller, du pare-chocs à l'obstacle, puis le retour : la distance $2d$, à la célérité v.

Conclusion. On a $2d = v\,\Delta t$.

A.4. 1 pts

Calcule d.

INDICE

Point délicat : convertis Δt en secondes.

CORRIGÉ

Avec $\Delta t = 3{,}0 \times 10^{-3}\,\text{s}$:

$$\begin{aligned}2d &= v\,\Delta t \\ 2d &= 346\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1} \\ &\quad \times 3{,}0 \times 10^{-3}\,\text{s} \\ 2d &\approx 1{,}04\,\text{m} \\ d &\approx 0{,}52\,\text{m}\end{aligned}$$

Conclusion. L'obstacle est à environ $0{,}52\,\text{m}$ du pare-chocs.

B.1. 0,75 pts

Partie B : réglage et précision

Le constructeur veut détecter un obstacle jusqu'à $d_{\max} = 2{,}5\,\text{m}$. L'écran de l'oscilloscope compte 10 divisions horizontales ; on garde $v = 346\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Calcule la durée $\Delta t_{\max}$ de l'aller et retour pour un obstacle à $d_{\max}$.

INDICE

Outil : même relation, $\Delta t = \dfrac{2d}{v}$.

CORRIGÉ

$$\Delta t_{\max} = \frac{2\,d_{\max}}{v}$$
$$\Delta t_{\max} = \frac{5{,}0\,\text{m}}{346\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$$
$$\Delta t_{\max} \approx 1{,}4\times10^{-2}\,\text{s}$$

Conclusion. L'écho le plus tardif revient environ $14\,\text{ms}$ après l'émission (valeur avant arrondi : environ $14{,}5\,\text{ms}$).

B.2. 0,5 pts

Parmi les balayages $0{,}5$; 1 ; 2 et $5\,\text{ms/div}$, choisis le plus petit qui garde l'écho à l'écran pour tout obstacle jusqu'à $d_{\max}$. Justifie.

INDICE

Outil : l'écran affiche une durée de $10\times b$.

CORRIGÉ

L'écran affiche $10\times b$: $5\,\text{ms}$, $10\,\text{ms}$, $20\,\text{ms}$ ou $50\,\text{ms}$. Il faut au moins $14{,}5\,\text{ms}$. Les balayages $0{,}5$ et $1\,\text{ms/div}$ sont trop courts ; $2\,\text{ms/div}$ suffit.

Conclusion. On choisit $b = 2\,\text{ms/div}$, le plus petit balayage qui convient.

B.3. 1 pts

La durée Δt lue sur l'écran est connue à $0{,}2\,\text{div}$ près. Calcule l'incertitude sur la distance avec ce balayage, puis avec $0{,}50\,\text{ms/div}$. Conclus.

INDICE

Début : une erreur de lecture δt sur la durée donne une erreur $\dfrac{v\,\delta t}{2}$ sur la distance.

CORRIGÉ

Avec le balayage de $2\,\text{ms/div}$**.** $\delta t = 0{,}2\,\text{div} \times 2\,\text{ms/div} = 0{,}4\,\text{ms}$.

$$\begin{aligned}\delta d &= \frac{v\,\delta t}{2}\\ \delta d &= \frac{346\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}{2}\\ &\quad\times 0{,}4\times 10^{-3}\,\text{s}\\ \delta d &\approx 6{,}9\times 10^{-2}\,\text{m}\end{aligned}$$

Avec le balayage de $0{,}50\,\text{ms/div}$**.** $\delta t = 0{,}1\,\text{ms}$, quatre fois plus petite : $\delta d \approx 1{,}7\,\text{cm}$.

Conclusion. Le grand balayage voit loin mais lit la distance à environ $7\,\text{cm}$ près ; un petit balayage est quatre fois plus précis pour un obstacle proche.

B.4. 1,25 pts

Le télémètre calcule toujours la distance avec $346\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Un matin d'hiver, l'air est à $0\,^{\circ}\text{C}$ et la célérité réelle vaut $v_r = 331\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Un obstacle est réellement à $d_r = 1{,}20\,\text{m}$.

Montre que la distance affichée vaut $d_a = d_r\,\dfrac{346}{331}$, puis calcule-la.

INDICE

Début : la durée de l'écho vient de la célérité réelle. **Ensuite :** le télémètre convertit cette durée avec $346\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

CORRIGÉ

Durée réelle. L'écho revient après $\Delta t = \dfrac{2\,d_r}{v_r}$.

Distance affichée. $d_a = \dfrac{346\times\Delta t}{2} = d_r\,\dfrac{346}{v_r}$, soit $d_a = d_r\,\dfrac{346}{331}$.

$$\begin{aligned}d_a &= 1{,}20\,\text{m}\times\frac{346}{331}\\ d_a &\approx 1{,}25\,\text{m}\end{aligned}$$

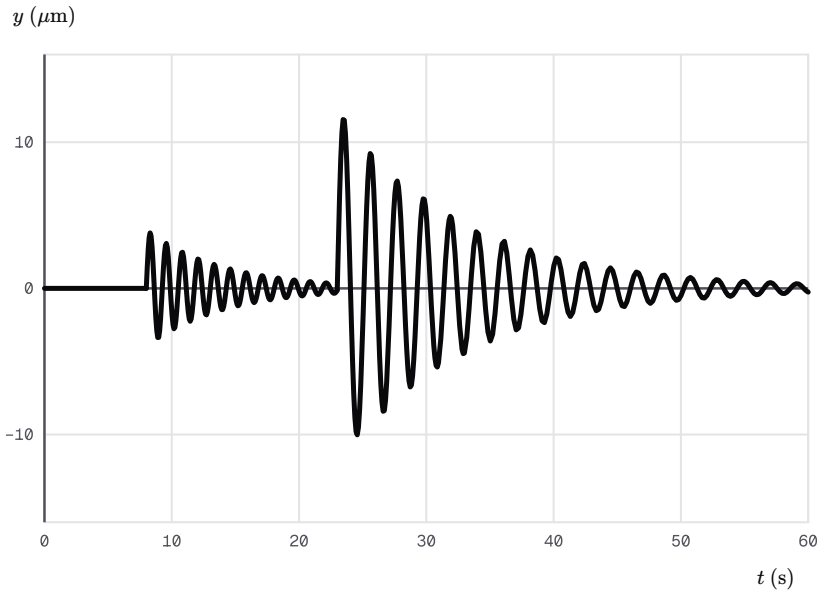
Conclusion. Le télémètre affiche environ $1{,}25\,\text{m}$: il surestime la distance d'environ $5\,\text{cm}$ par temps froid.

Exercice 3 — 6 pts

Séisme : distance d'une station et date du séisme

Le foyer d'un séisme émet, à la même date, deux sortes d'ondes qui traversent les roches : les ondes P, puis, plus lentes, les ondes S.

Document 1. Enregistrement d'une station sismique ; l'origine des temps est le début de l'enregistrement.



Enregistrement de la station sismique ; temps compté depuis le début de l'enregistrement

A.1. — 0,75 pts

Partie A : distance du foyer à une station

Sous la station, l'arrivée des ondes P comprime puis dilate les roches le long du trajet de l'onde ; celle des ondes S les fait bouger en travers de ce trajet.

Les ondes sismiques sont-elles des ondes mécaniques ? Indique si les ondes P, puis les ondes S, sont transversales ou longitudinales.

INDICE

Outil : une onde mécanique se propage dans un milieu matériel ; compare ensuite les directions.

CORRIGÉ

Les ondes sismiques sont des perturbations qui se propagent dans les roches, un milieu matériel : ce sont des ondes mécaniques.

Nature. Pour les ondes P, la perturbation a la direction de la propagation ; pour les ondes S, elle lui est perpendiculaire.

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

A.2. 0,75 pts

Lis sur le document 1 les dates d'arrivée t_P des ondes P et t_S des ondes S, puis l'écart $\Delta t = t_S - t_P$.

INDICE

Outil : les ondes P, les plus rapides, donnent les premières oscillations ; les ondes S, les plus amples, arrivent ensuite.

CORRIGÉ

Par lecture graphique, les premières oscillations commencent à $t_P \approx 8\,\text{s}$; les grandes oscillations commencent à $t_S \approx 23\,\text{s}$.

$$\Delta t = t_S - t_P$$
$$\Delta t \approx 15\,\text{s}$$

Conclusion. Les ondes S arrivent environ $15\,\text{s}$ après les ondes P.

A.3. 0,75 pts

Les ondes P ont la célérité v_P et les ondes S la célérité v_S. Montre que la distance d du foyer à la station vérifie $d = \dfrac{\Delta t\, v_P\, v_S}{v_P - v_S}$.

INDICE

Début : les deux ondes partent ensemble et parcourent la même distance. **Ensuite :** écris Δt comme une différence de durées.

CORRIGÉ

Les ondes P et S partent du foyer à la même date et parcourent la même distance d, en $\dfrac{d}{v_P}$ et $\dfrac{d}{v_S}$.

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

Conclusion. En isolant d, on obtient $d = \dfrac{\Delta t\, v_P\, v_S}{v_P - v_S}$.

A.4. 0,75 pts

Dans la croûte terrestre, on prend $v_P = 6{,}4\,\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ et $v_S = 3{,}7\,\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$. Calcule d.

INDICE

Outil : les célérités sont en $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ et Δt en secondes : d sort en kilomètres.

CORRIGÉ

$$v_P - v_S = 2{,}7\,\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$$
$$\frac{v_P\, v_S}{v_P - v_S} \approx 8{,}77\,\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$$
$$d = 15\,\text{s} \times 8{,}77\,\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$$
$$d \approx 1{,}3 \times 10^{2}\,\text{km}$$

Conclusion. Le foyer est à environ $130\,\text{km}$ de la station.

B.1. 0,75 pts

Partie B : dater un autre séisme

Un autre séisme est enregistré par deux stations S_1 et S_2. Les dates sont comptées à partir de 4 h 15 min 00 s.

Document 2. Arrivée des ondes P aux deux stations.

Station	Distance au foyer	Arrivée des ondes P
S_1	$d_1 = 120\,\text{km}$	$t_1 = 26\,\text{s}$
S_2	$d_2 = 300\,\text{km}$	$t_2 = 56\,\text{s}$

On note t_0 la date du séisme. Montre que la célérité des ondes P vérifie $v_P = \dfrac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$.

INDICE

Début : écris la date d'arrivée à chaque station, $t_i = t_0 + \dfrac{d_i}{v_P}$. **Ensuite :** fais la différence.

CORRIGÉ

Les ondes P partent du foyer à t_0 et arrivent à chaque station avec le retard $\dfrac{d_i}{v_P}$:

$$t_1 = t_0 + \frac{d_1}{v_P}$$
$$t_2 = t_0 + \frac{d_2}{v_P}$$

En soustrayant, t_0 disparaît : $t_2 - t_1 = \dfrac{d_2 - d_1}{v_P}$.

Conclusion. On obtient $v_P = \dfrac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$, sans connaître la date du séisme.

B.2. 0,5 pts

Calcule v_P.

INDICE

Outil : remplace avec les valeurs du document 2.

CORRIGÉ

$$v_P = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$$
$$v_P = \frac{180\,\text{km}}{30\,\text{s}}$$
$$v_P = 6{,}0\,\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$$

Conclusion. Les ondes P se propagent à $6{,}0\,\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ sous ces stations.

B.3. 0,75 pts

Détermine l'heure du séisme.

INDICE

Outil : les ondes P ont voyagé pendant $\dfrac{d_1}{v_P}$ avant d'atteindre S_1 à la date t_1.

CORRIGÉ

Durée du trajet des ondes P jusqu'à S_1 :

$$\frac{d_1}{v_P} = \frac{120\,\text{km}}{6{,}0\,\text{km}\cdot\text{s}^{-1}}$$
$$\frac{d_1}{v_P} = 20\,\text{s}$$

D'où $t_0 = 26\,\text{s} - 20\,\text{s} = 6\,\text{s}$.

Conclusion. Le séisme s'est produit vers 4 h 15 min 06 s.

B.4. 1 pts

Les ondes S, de célérité $v_S = 3{,}7\,\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$, partent du foyer à la même date que les ondes P. À quelle heure atteignent-elles la station S_2 ?

INDICE

Outil : ajoute à t_0 la durée du trajet des ondes S jusqu'à S_2.

CORRIGÉ

$$\frac{d_2}{v_S} = \frac{300\,\text{km}}{3{,}7\,\text{km}\cdot\text{s}^{-1}}$$
$$\frac{d_2}{v_S} \approx 81\,\text{s}$$

Les ondes S arrivent à $t_0 + 81\,\text{s} \approx 87\,\text{s}$, soit $1\,\text{min}\,27\,\text{s}$ après l'origine des dates.

Conclusion. Les ondes S atteignent S_2 vers 4 h 16 min 27 s, plus d'une demi-minute après les ondes P.

Exercice 4 6 pts

Tsunami : durée de parcours et célérité mesurée par des bouées

Un séisme sous-marin provoque un tsunami, une onde qui se propage à la surface de l'océan. Au large, sa célérité est donnée par $v = \sqrt{g\,h}$, où h est la profondeur de l'océan et $g = 9{,}80\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$. On admet que la profondeur est constante sur chaque trajet étudié.

Document 1. Passage du front du tsunami au-dessus de deux bouées de mesure, utile à la partie B.

Bouée	Date de passage du front
B_1	3 h 12 min
B_2	3 h 25 min

A.1. 0,5 pts

Partie A : du large à la côte

Le tsunami est-il une onde progressive à une, deux ou trois dimensions ? Au large, transporte-t-il l'eau de l'épicentre jusqu'à la côte ? Justifie.

INDICE

Outil : l'onde se propage à la surface de l'océan ; une onde mécanique transporte de l'énergie.

CORRIGÉ

Le tsunami se propage à la surface de l'océan, dans toutes les directions de cette surface : c'est une onde à deux dimensions. Au large, l'eau monte et redescend sur place au passage de l'onde.

Conclusion. Onde à deux dimensions, le tsunami transporte de l'énergie, pas l'eau de l'épicentre.

A.2. 0,75 pts

Au-dessus d'une zone de profondeur $h = 4{,}00\,\mathrm{km}$, montre que $v \approx 198\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

INDICE

Point délicat : convertis h en mètres avant de remplacer.

CORRIGÉ

Avec $g = 9{,}80\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$ et $h = 4{,}00\times10^{3}\,\mathrm{m}$, toutes deux en unités du système international, v sort en $\mathrm{m\cdot s^{-1}}$:

$$v = \sqrt{g\,h}$$
$$v = \sqrt{9{,}80\times4{,}00\times10^{3}}$$
$$v \approx 198\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

Conclusion. Le tsunami avance à environ $198\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ au-dessus de cette zone.

A.3. 1,5 pts

La côte est à $1\,200\,\mathrm{km}$ de l'épicentre, sur un trajet de profondeur $4{,}00\,\mathrm{km}$. L'alerte est donnée $10\,\mathrm{min}$ après le séisme. De combien de temps les habitants disposent-ils, après l'alerte, avant l'arrivée de la vague ?

INDICE

Début : calcule la durée du parcours jusqu'à la côte. **Ensuite :** retire le délai de l'alerte.

CORRIGÉ

Durée du parcours. Avec $D = 1{,}20 \times 10^{6}\,\mathrm{m}$:

$$T = \frac{D}{v}$$
$$T = \frac{1{,}20 \times 10^{6}\,\mathrm{m}}{198\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}}$$
$$T \approx 6{,}06 \times 10^{3}\,\mathrm{s}$$

soit environ $101\,\mathrm{min}$, ou 1 h 41 min.

Délai. $101\,\mathrm{min} - 10\,\mathrm{min} = 91\,\mathrm{min}$.

Conclusion. Après l'alerte, les habitants disposent d'environ 1 h 31 min pour s'éloigner du rivage.

B.1. 0,75 pts

Partie B : célérité mesurée par deux bouées

Deux bouées B_1 et B_2 sont alignées avec la propagation, distantes de $d = 150\,\mathrm{km}$, B_2 étant la plus éloignée de l'épicentre. Le document 1 donne les dates de passage du front.

Détermine le retard τ de B_2 sur B_1, en secondes.

INDICE

Outil : fais la différence des deux dates, puis convertis les minutes en secondes.

CORRIGÉ

D'après le document 1, le front passe à 3 h 12 min au-dessus de B_1 et à 3 h 25 min au-dessus de B_2.

$$\tau = 13\,\mathrm{min}$$
$$\tau = 13 \times 60\,\mathrm{s}$$
$$\tau = 780\,\mathrm{s}$$

Conclusion. B_2 est atteinte $780\,\mathrm{s}$ après B_1.

B.2. 0,5 pts

Calcule la célérité v' du tsunami entre les deux bouées.

INDICE

Outil : la relation $d = v \cdot \tau$.

CORRIGÉ

Avec $d = 1{,}50 \times 10^{5}\,\mathrm{m}$:

$$v' = \frac{d}{\tau}$$
$$v' = \frac{1{,}50 \times 10^{5}\,\mathrm{m}}{780\,\mathrm{s}}$$
$$v' \approx 1{,}9 \times 10^{2}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

Conclusion. Entre les bouées, le tsunami avance à environ $190\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ (valeur avant arrondi : $192\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$).

B.3. 1,25 pts

Montre que la profondeur de l'océan entre les bouées vérifie $h' = \dfrac{v'^{2}}{g}$, puis calcule-la.

INDICE

Début : élève au carré la relation $v' = \sqrt{g\,h'}$. **Point délicat :** garde la valeur non arrondie de v'.

CORRIGÉ

De $v' = \sqrt{g\,h'}$, on tire $v'^{2} = g\,h'$, d'où $h' = \dfrac{v'^{2}}{g}$. Avec $v' \approx 192\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ et $g = 9{,}80\,\mathrm{m \cdot s^{-2}}$, en unités du système international :

$$h' = \frac{192^{2}}{9{,}80}$$
$$h' \approx 3{,}8 \times 10^{3}\,\mathrm{m}$$

Conclusion. L'océan est profond d'environ $3{,}8\,\mathrm{km}$ entre les deux bouées.

B.4. 0,75 pts

Une troisième bouée B_3 est $240\,\mathrm{km}$ plus loin que B_2, sur la même ligne et à la même profondeur. À quelle heure le front y passe-t-il ?

INDICE

Outil : calcule le retard de B_3 sur B_2 avec la célérité v'.

CORRIGÉ

$$\tau' = \frac{2{,}40 \times 10^{5}\,\mathrm{m}}{192\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}}$$
$$\tau' \approx 1{,}25 \times 10^{3}\,\mathrm{s}$$

soit environ $21\,\mathrm{min}$ après le passage au-dessus de B_2.

Conclusion. Le front passe au-dessus de B_3 vers 3 h 46 min.

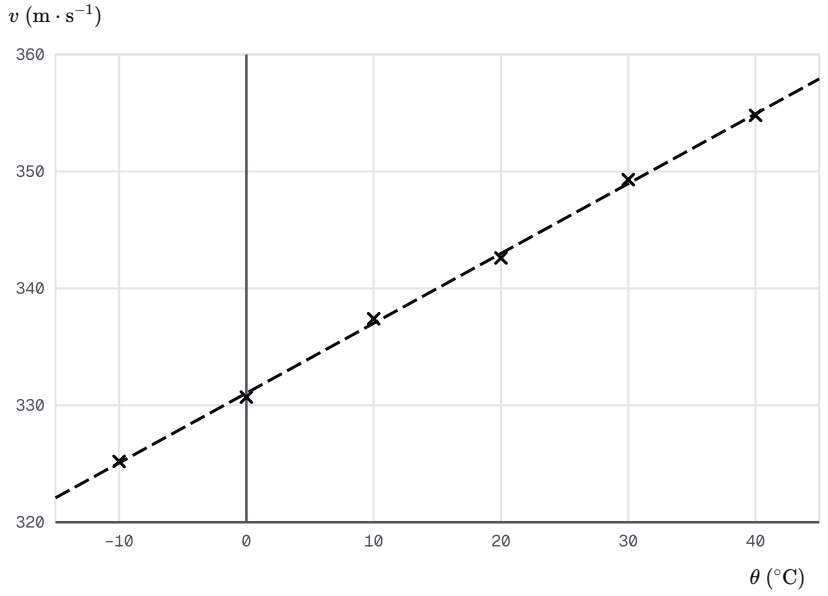
Exercice 5

6 pts

Célérité du son : mesure à deux microphones et effet de la température

Deux élèves veulent mesurer la célérité du son dans l'air de leur laboratoire. Ils disposent de deux microphones, d'une interface d'acquisition reliée à un ordinateur, d'un claquoir qui produit un son bref et d'un mètre ruban.

Document 1. Célérité du son mesurée dans l'air à plusieurs températures, utile à la partie B.



Célérité du son dans l'air en fonction de la température

A.1. 1 pts

Partie A : mesure à deux microphones

Propose le montage, décrit sous forme de liste (éléments, positions, branchements), puis le protocole de mesure du retard.

INDICE

Outil : quelles grandeurs faut-il mesurer pour obtenir une célérité ?

CORRIGÉ

Montage.

- Claquoir à une extrémité de la paillasse.
- Microphones M_1 et M_2 alignés avec le claquoir, M_1 le plus proche, à la distance d l'un de l'autre, mesurée au mètre ruban.
- M_1 relié à la voie 1 et M_2 à la voie 2 de l'interface, déclenchement sur la voie 1.

Protocole.

- Faire claquer le claquoir et enregistrer les deux signaux.
- Repérer le début de chaque signal et lire l'écart τ entre ces deux dates.
- Recommencer plusieurs fois et garder la moyenne.

Conclusion. Le retard τ correspond au trajet de M_1 à M_2, d'où $v = \dfrac{d}{\tau}$.

A.2. 0,5 pts

Le son est-il une onde transversale ou longitudinale ? Pourquoi la mesure serait-elle impossible dans une enceinte où l'on a fait le vide ?

INDICE

Outil : dans l'air, les tranches d'air bougent dans la direction de propagation.

CORRIGÉ

Les tranches d'air avancent et reculent dans la direction de propagation : le son est une onde longitudinale. C'est une onde mécanique, qui exige un milieu matériel.

Conclusion. Dans le vide, le son du claquoir n'atteindrait aucun microphone : aucune mesure ne serait possible.

A.3. 0,5 pts

Les microphones sont à $d = 2{,}00\,\mathrm{m}$ l'un de l'autre ; le retard mesuré vaut $\tau = 5{,}80\,\mathrm{ms}$. Montre que $v \approx 345\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

INDICE

Point délicat : convertis le retard en secondes.

CORRIGÉ

Avec $\tau = 5{,}80 \times 10^{-3}\,\mathrm{s}$:

$$v = \frac{d}{\tau}$$
$$v = \frac{2{,}00\,\mathrm{m}}{5{,}80 \times 10^{-3}\,\mathrm{s}}$$
$$v \approx 345\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

Conclusion. Le son se propage dans le laboratoire à environ $345\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$, avec trois chiffres significatifs comme les données.

A.4. 1 pts

Le retard est lu à $0{,}05\,\mathrm{ms}$ près. Compare l'incertitude relative sur τ pour $d = 2{,}00\,\mathrm{m}$ et pour $d = 6{,}00\,\mathrm{m}$. Quelle distance choisir ?

INDICE

Début : à $6{,}00\,\mathrm{m}$, le retard est trois fois plus grand. **Ensuite :** l'incertitude relative est le quotient de $0{,}05\,\mathrm{ms}$ par le retard.

CORRIGÉ

Distance de $2{,}00\,\mathrm{m}$. $\dfrac{0{,}05\,\mathrm{ms}}{5{,}80\,\mathrm{ms}} \approx 0{,}0086$, soit environ $0{,}9\,\%$.

Distance de $6{,}00\,\mathrm{m}$. Le retard vaut environ $3 \times 5{,}80\,\mathrm{ms} = 17{,}4\,\mathrm{ms}$.

$$\frac{0{,}05\,\mathrm{ms}}{17{,}4\,\mathrm{ms}} \approx 0{,}0029$$

soit environ $0{,}3\,\%$.

Conclusion. La même erreur de lecture pèse trois fois moins sur un retard trois fois plus long : on choisit $d = 6{,}00\,\mathrm{m}$.

B.1. 0,5 pts

Partie B : influence de la température

Le document 1 rassemble des mesures de la célérité v du son dans l'air pour des températures θ de -10 à $40\,^\circ\mathrm{C}$, avec la droite de modélisation.

Décris l'évolution de v avec la température.

INDICE

Outil : observe le sens de variation et la forme de la droite.

CORRIGÉ

Les points s'alignent sur une droite croissante : la célérité augmente avec la température, de façon affine sur ce domaine. La droite ne passe pas par l'origine.

Conclusion. La célérité du son croît avec la température, et v est une fonction affine de θ entre -10 et $40\,^\circ\mathrm{C}$.

B.2. 1 pts

Lis sur la droite de modélisation la célérité v_0 à $0\,^\circ\mathrm{C}$ et la célérité à $40\,^\circ\mathrm{C}$. Déduis-en le coefficient directeur a de la droite, puis l'expression de v en fonction de θ.

INDICE

Outil : $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta \theta}$ entre deux points de la droite, jamais entre deux mesures.

CORRIGÉ

Par lecture graphique sur la droite, $v_0 \approx 331\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ à $0\,^\circ\mathrm{C}$ et $v \approx 355\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ à $40\,^\circ\mathrm{C}$.

$$a = \frac{355 - 331}{40 - 0}$$
$$a \approx 0{,}60\,\mathrm{m\cdot s^{-1}\cdot {}^\circ C^{-1}}$$

L'unité de a est le $\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ par degré Celsius.

Conclusion. Sur ce domaine, $v \approx 0{,}60\,\theta + 331$, avec v en $\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ et θ en degrés Celsius.

B.3. 0,75 pts

Dans une salle, on mesure $v = 340\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$. Estime la température de la salle.

INDICE

Outil : résous $0{,}60\,\theta + 331 = 340$.

CORRIGÉ

$$\theta = \frac{v - 331}{a}$$
$$\theta = \frac{9\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}}{0{,}60\,\mathrm{m\cdot s^{-1}\cdot {}^\circ C^{-1}}}$$
$$\theta \approx 15\,^\circ\mathrm{C}$$

Conclusion. La salle est à environ $15\,^\circ\mathrm{C}$.

B.4. 0,75 pts

Un élève propose de crier plus fort pour que le son atteigne plus vite le second microphone. Que lui réponds-tu ?

INDICE

Outil : de quoi dépend la célérité d'une onde ?

CORRIGÉ

La célérité dépend du milieu, ici de l'air et de sa température, et non de l'amplitude de la perturbation. Un cri et un murmure se propagent à la même célérité dans la même salle.

Conclusion. Crier plus fort ne change pas la célérité : seul un changement du milieu, par exemple de sa température, la modifierait.