ONDES MECANIQUES

10 Évaluer une distance

| Écrire un résultat de manière adaptée.

Lors d'un feu d'artifice, un spectateur voit l'explosion d'une fusée dès qu'elle se produit et l'entend 2 secondes après l'avoir vue. À 25°C, les sons se propagent dans l'air avec une célérité de $345\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- Évaluer la distance à laquelle ce spectateur se trouve de l'explosion.

10 Évaluer une distance

Á 25 °C, la lumière se propage dans l'air à une célérité de $3{,}00 \times 10^8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ que l'on peut considérer comme instantanée alors que le son se propage à une vitesse de valeur $345\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

On a $v = \dfrac{d}{\Delta t}$ soit $d = v \times \Delta t = 345\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \times 2\ \text{s} = 7 \times 10^2\ \text{m}$.

12 Évaluer une durée de propagation

| Effectuer des calculs.

Des bouées de détection de tsunamis ont été installées dans les zones à risque des océans. Une telle bouée, située à 2 500 km des côtes, détecte un tsunami.

- De combien de temps les personnes près des côtes disposent-elles pour se mettre à l'abri si la célérité du tsunami est en moyenne $700\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$?

12 Évaluer une durée de propagation

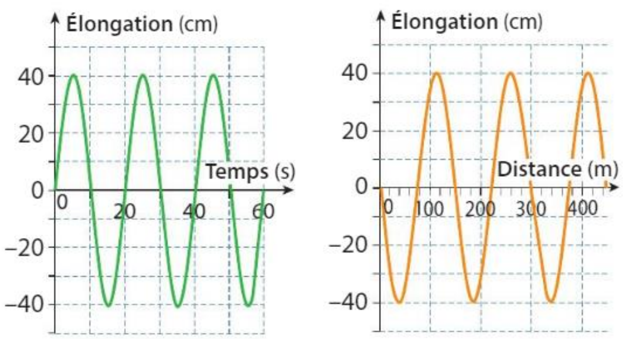
On a $v = \dfrac{d}{\Delta t}$ donc $\Delta t = \dfrac{d}{v} = \dfrac{2,500\ \text{km}}{700\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}} = 3{,}57$ h soit environ 3 h 34 min.

15 Exploiter la double périodicité

CORRIGÉ

| Extraire l'information.

Les deux graphiques ci-dessous correspondent à la même onde périodique.



1. Déterminer la période, la longueur d'onde et l'amplitude de cette onde. Utiliser le réflexe 4

2. En déduire la célérité de cette onde. Utiliser le réflexe 3

15 Exploiter la double périodicité

1. Le graphique de gauche représente l'élongation en fonction du temps. C'est une représentation temporelle. Sur ce graphique, on lit $3\,T = 60$ s. On en déduit la période $T = 20$ s.
Le graphique de droite représente l'élongation en fonction de la distance, c'est une représentation spatiale. Sur ce graphique, on lit $2\lambda = 300$ m. On en déduit la longueur d'onde $\lambda = 150$ m.
Sur les deux graphiques on observe que l'amplitude A = 40 cm.

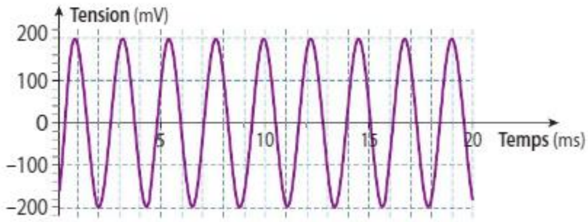
2. $v = \dfrac{\lambda}{T} = \dfrac{150\ \text{m}}{20\ \text{s}} = 7{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

17 Calculer une longueur d'onde

CORRIGÉ

| Exploiter une information.

La courbe suivante est l'enregistrement du son produit par un diapason. Les sons se propagent dans l'air avec une célérité de $345\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.



1. Déterminer la période et l'amplitude de cette onde.
2. En déduire sa longueur d'onde.

17 Calculer une longueur d'onde

1. On lit $8\,T = 18$ ms. On en déduit la période $T = 2{,}3$ ms.
Sur l'axe des ordonnées on lit l'amplitude $A = 220$ mV.

2. $v = \dfrac{\lambda}{T}$ soit $\lambda = v \times T = 345\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \times 2{,}3 \times 10^{-3}\ \text{s} = 7{,}8 \times 10^{-1}$ m

18 Calculer une période

| Extraire et organiser l'information.

Les données ci-dessous sont extraites d'un site Internet donnant des informations sur les tsunamis.

	Pleine mer	Près des côtes
Profondeur	7 km	10 m
Célérité	$943\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$36\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
Longueur d'onde	282 km	10,6 km
Hauteur de vague	5 cm	10 m

1. Calculer la période de chacune de ces ondes.
2. Comparer ces périodes.

18 Calculer une période

1. On a $v = \dfrac{\lambda}{T}$ donc $T = \dfrac{\lambda}{v}$.

On en déduit : $T_{\text{pleine mer}} = \dfrac{282\ \text{km}}{943\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}} = 0{,}299$ h soit environ 18,0 min et $T_{\text{près des côtes}} = \dfrac{10{,}6\ \text{km}}{36\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}} = 0{,}29$ h soit environ 18 min.

2. Ces deux périodes sont sensiblement égales.

20 Onde sur une corde

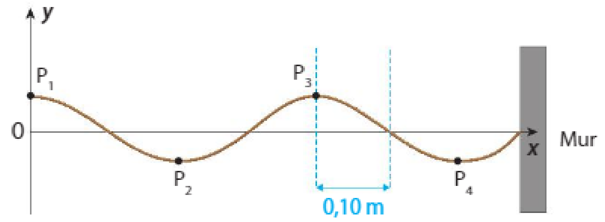
Identifier les paramètres qui influencent un phénomène ; confronter un modèle à des résultats expérimentaux.

L'extrémité d'une corde est fixée à un mur, l'autre extrémité est agitée verticalement, sinusoïdalement, avec une période T de 250 ms.

1. Décrire le mouvement d'un point de la corde.

2. Après 2,1 s, une perturbation a parcouru la distance d égale à 3,2 m.
Calculer la célérité v de l'onde.

3. À l'instant t_1, l'aspect de la corde est le suivant :



a. Déterminer la longueur d'onde λ de l'onde sinusoïdale.

b. En déduire la célérité v_1 de l'onde à l'instant t_1 et la comparer à la valeur v déterminée en **2**.

4. Schématiser l'aspect de la corde à la date t_2, 125 ms après la date t_1.

20 Onde sur une corde

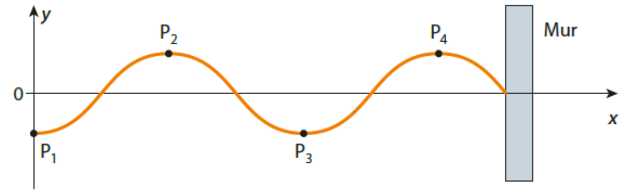
1. Chaque point de la corde effectue des oscillations verticales dont la période est $T = 250$ ms. Seul le point de fixation sur le mur reste immobile.

2. On a $v = \dfrac{d}{\Delta t} = \dfrac{3{,}2 \text{ m}}{2{,}1 \text{ s}} = 1{,}5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

3. a. On lit sur le graphique $\dfrac{\lambda}{4} = 0{,}10$ m donc $\lambda = 0{,}40$ m.

b. On a $v = \dfrac{\lambda}{T}$ donc $v_1 = \dfrac{0{,}40 \text{ m}}{250 \times 10^{-3} \text{ s}} = 1{,}6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
Les deux valeurs de vitesse obtenues sont proches.

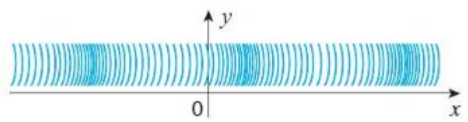
4. On a $t_2 = t_1 + 125$ ms donc $t_2 = t_1 + \dfrac{T}{2}$ donc les signaux sont décalés d'une demi-période dans le temps et d'une demi longueur d'onde dans l'espace, soit :



22 CORRIGÉ

Interpréter des résultats ; effectuer des calculs.

Un ressort est soumis à une déformation périodique, sinusoïdale :

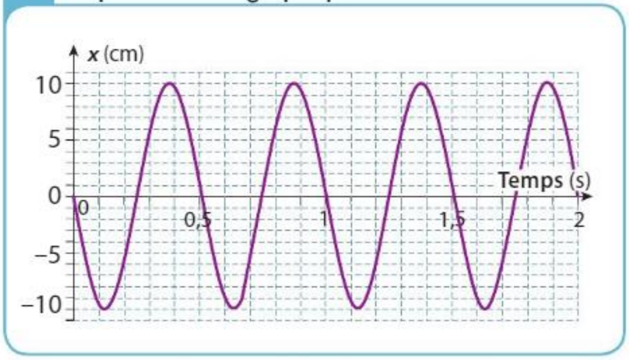


On filme la propagation de ces ondes périodiques le long du ressort. Après analyse du pointage vidéo du déplacement d'un point du ressort au cours du temps, on dispose, dans un tableur, d'une série de valeurs (tableau A). x est l'élongation d'un point du ressort.

A Tableau

t (s)	x (cm)
0	
0,1	– 9,5
0,2	
0,3	5,9
0,4	

B Représentation graphique



Le déplacement, autour de sa position de repos initiale, d'un point P du ressort est repéré par son élongation x en fonction du temps : $x(t) = A \cos\left(\dfrac{2\pi}{T} \times t + \phi\right)$.

1. Choisir les bonnes affirmations :

A. Le point du ressort se déplace de 10 cm autour de sa position de repos initiale.

B. Le point du ressort se déplace de 20 cm autour de sa position de repos initiale.

C. $x(t) = 5 \cos\left(\dfrac{2\pi}{1} \times t + \dfrac{\pi}{2}\right)$

D. $x(t) = 10 \cos\left(\dfrac{2\pi}{1} \times t + \dfrac{\pi}{2}\right)$

E. $x(t) = 10 \cos\left(\dfrac{2\pi}{0{,}5} \times t + \dfrac{\pi}{2}\right)$

2.a. Reproduire et compléter les cases vides du tableau A en utilisant l'expression correcte de $x(t)$.

b. Vérifier que les points appartiennent à la courbe du graphique B.

22 CORRIGÉ Côté maths

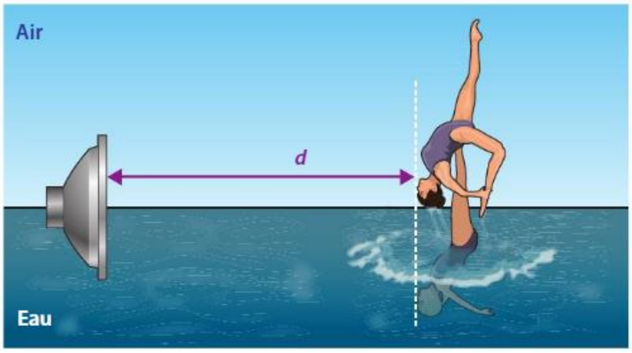
1. L'affirmation A est correcte car on constate sur le graphique que l'amplitude est égale à 10 cm.
L'affirmation E est correcte car on constate sur le graphique que la période est 0,5 s.

2. a. On calcule $x(0) = 0$ cm ; $x(0{,}2) = -5{,}9$ cm et $x(0{,}4) = 9{,}5$ cm.

b. Ces points appartiennent bien à la courbe.

23 Qui capte en premier ?

| Effectuer des calculs ; exploiter des informations.



Lors d'un spectacle de natation synchronisée, deux nageuses perçoivent le son d'un même haut-parleur en partie immergé dans de l'eau. Ce haut-parleur émet un son reçu par la nageuse placée dans l'air et par la nageuse située dans l'eau. Les deux nageuses sont placées à la même distance d du haut-parleur.

Données

- Célérité du son dans l'air et dans l'eau : $v_{air} = 345\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $v_{eau} = 1\ 500\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. Quelle nageuse perçoit le son en premier ?

2. La durée séparant la détection du son par les deux nageuses est notée Δt. Exprimer cette durée Δt en fonction des célérités du son dans l'eau et dans l'air et de la distance d.

3. Calculer cette durée lorsque $d = 10{,}0$ m.

23 Qui capte en premier ?

1. On a $v = \dfrac{d}{\Delta t}$.

On en déduit $\Delta t_{eau} = \dfrac{d}{v_{eau}}$ et $\Delta t_{air} = \dfrac{d}{v_{air}}$.

D'après le texte, on sait que $v_{eau} > v_{air}$.

Les nageuses sont à la même distance d du haut-parleur. On peut alors en déduire que $\Delta t_{eau} < \Delta t_{air}$.

La nageuse qui est dans l'eau perçoit le son en premier.

2. $\Delta t = \Delta t_{air} - \Delta t_{eau} = \dfrac{d}{v_{air}} - \dfrac{d}{v_{eau}} = d \times \left(\dfrac{1}{v_{air}} - \dfrac{1}{v_{eau}}\right)$

3. $\Delta t = 10{,}0\ \text{m} \times \left(\dfrac{1}{345\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}} - \dfrac{1}{1\ 500\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}\right) = 2{,}23 \times 10^{-2}\ \text{s} = 22{,}3 \times 10^{-3}\ \text{s} = 22{,}3\ \text{ms}$.

26 Le télémètre à pointeur laser

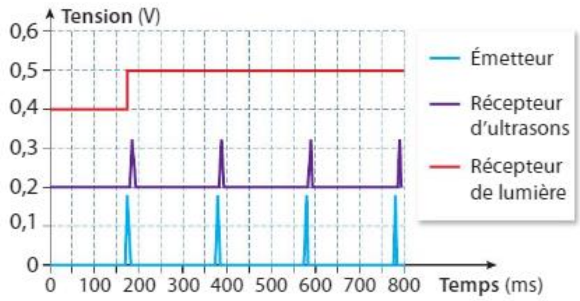
CORRIGÉ

| Extraire l'information ; rédiger une explication ; mobiliser et organiser ses connaissances.

Une revue de bricolage annonce « Télémètre à ultrasons 40 kHz à faisceau lumineux ».

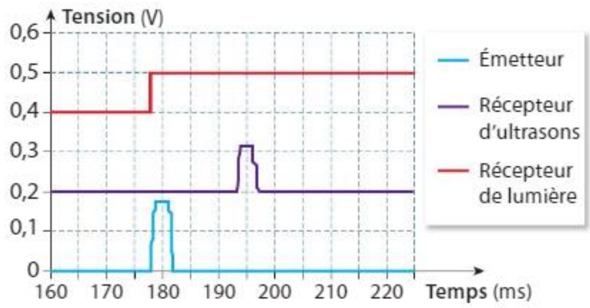
Un acheteur se demande si la mesure se fait grâce à la réflexion des ultrasons ou bien grâce à la réflexion de la lumière. Pour le vérifier, il relie l'émetteur du télémètre à un système d'acquisition informatisé. Puis il place un récepteur ultrasonore et un récepteur de lumière à une distance d égale à 5,1 m de l'émetteur du télémètre. Les récepteurs sont également reliés au système d'acquisition.

Les signaux obtenus ont été décalés verticalement pour une meilleure lisibilité.



1. À quoi correspondent les variations du signal :
- associé à la courbe rouge ?
- associé à la courbe violette ?
- associé à la courbe bleue ?

2. On zoome sur une partie de l'acquisition afin de pouvoir effectuer des mesures précises.



Calculer la célérité du signal de mesure. Confirmer que le télémètre utilise des ultrasons pour mesurer la distance.

3. Quel est le rôle du laser ?

26 Le télémètre à pointeur laser

CORRIGÉ

1. La variation du signal sur la courbe rouge correspond à la réception de lumière.

Les variations du signal sur la courbe violette correspondent à la réception d'ultrasons.

Les variations du signal sur la courbe bleue correspondent à l'émission d'ultrasons.

2. On lit, sur le graphique donné, une durée entre l'émission et la réception du signal de 15 ms.

Pendant cette durée, le signal parcourt 5,1 m.

On a $v = \dfrac{d}{\Delta t}$.

Donc $v = \dfrac{5{,}1\ \text{m}}{15\ \text{s}} = 3{,}4 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Cette célérité correspond à celle des sons et ultrasons dans l'air.

3. On peut supposer que le laser sert de viseur pour indiquer la distance que mesure le télémètre.

27 À chacun son rythme

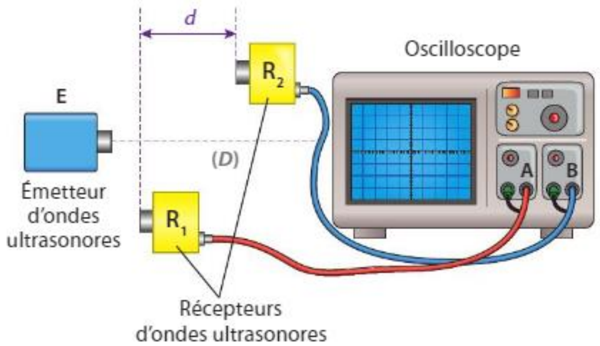
CORRIGÉ

Célérité d'une onde ultrasonore

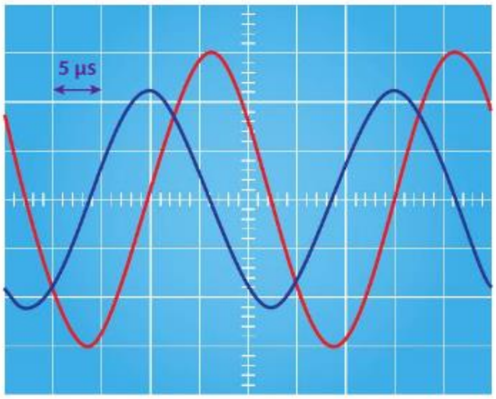
| Extraire l'information ; estimer une incertitude de mesure.

On souhaite connaître la célérité d'une onde ultrasonore qui se propage dans l'air.

On réalise le montage ci-dessous :



Pour une certaine position des récepteurs, on obtient l'oscillogramme suivant :



Les sensibilités verticales des deux voies de l'oscilloscope sont identiques. La courbe rouge correspond au signal du récepteur R_1 et la courbe bleue à celui du récepteur R_2. Lorsque les récepteurs sont à égale distance de l'émetteur, les courbes sont confondues. Le récepteur R_1 restant fixe, on éloigne le récepteur R_2 le long de l'axe (D) en comptant le nombre de fois où les abscisses des maxima sont confondues. Lorsque la distance d est égale à 8,5 cm, les abscisses des maxima se sont retrouvées confondues 10 autres fois.

- Calculer la célérité v de l'onde ultrasonore dans l'air.

27 CORRIGÉ À chacun son rythme

Célérité d'une onde ultrasonore

1. Sur l'oscillogramme, on mesure qu'une période des ondes ultrasonores correspond à 5,0 divisions et qu'une division correspond à 5 µs.
On a donc $T = 5{,}0 \times 5\ \mu s = 25\ \mu s = 25 \times 10^{-6}$ s.

2. La distance d correspond à 10 longueurs d'onde puisque les maxima des deux courbes se sont retrouvés confondus 10 autres fois.
On a donc $\lambda = \frac{d}{10} = \frac{8{,}5\ \text{cm}}{10} = 0{,}85\ \text{cm} = 8{,}5 \times 10^{-3}$ m.

3. a. $v = \frac{\lambda}{T}$.

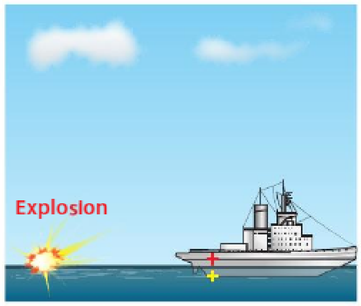
b. $v = \frac{8{,}5 \times 10^{3}\ \text{m}}{25 \times 10^{-6}\ \text{s}} = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.
La célérité de l'onde ultrasonore dans l'air est 340 m · s⁻¹.

29 Résolution de problème Fiche 1, p. 359

Où a eu lieu la détonation ?

| Construire les étapes d'une résolution de problème.

Une équipe de scientifiques à bord d'un navire enregistre en pleine mer une détonation. Le son est détecté à la fois par deux capteurs, l'un situé dans l'air, **capteur rouge**, l'autre situé dans l'eau, **capteur jaune**.



L'analyse des enregistrements montre que le son enregistré dans l'air est reçu avec un retard $\Delta t = 16{,}43$ s sur celui qui est détecté dans l'eau.

- Où a eu lieu l'explosion ?

Données

- Célérité du son dans ces conditions : dans l'eau $v_{eau} = 1\,500\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et dans l'air $v_{air} = 345\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Tout d'abord, la durée t_{air} mise par le son de l'explosion pour atteindre le capteur rouge a pour expression : $t_{air} = \frac{d}{v_{air}}$.

De même, la durée t_{eau} mise par le son de l'explosion pour atteindre le capteur jaune a pour expression : $t_{eau} = \frac{d}{v_{eau}}$.

On en déduit le retard $\Delta t = t_{air} - t_{eau}$.

Il vient $\Delta t = \frac{d}{v_{air}} - \frac{d}{v_{eau}} = d \times \left(\frac{1}{v_{air}} - \frac{1}{v_{eau}}\right) = d \times \left(\frac{v_{eau} - v_{air}}{v_{eau} - v_{air}}\right)$.

On isole la distance d : $d = \Delta t \times \left(\frac{v_{eau} \times v_{air}}{v_{eau} \times v_{air}}\right)$.

Et donc : $d = 16{,}43\ \text{s} \times \left(\frac{1\,500\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \times 345\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}{1\,500\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} - 345\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}\right) = 7{,}36 \times 10^{3}$ m.

- Conclure et introduire, quand c'est possible, une part d'esprit critique.

L'explosion a eu lieu à $7{,}36 \times 10^{3}$ m du bateau, soit un peu plus de 7 km.

33 La piscine

| Observer, décrire des phénomènes.

Dans le film *A Bigger Splash* de Luca GUADAGNINO, l'actrice Tilda SWINTON, assise au bord de sa piscine, crée avec son pied, à la surface de l'eau, une onde considérée comme périodique pour la durée de l'étude. Cette onde a une fréquence de 2,5 Hz et une amplitude de 1,5 cm.

Elle se propage à la surface de l'eau avec une célérité v de $2{,}9\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Sur l'eau, flotte un petit ballon. Son déplacement est repéré par la coordonnée verticale $z(t)$ et il est décrit par l'équation :

$$z(t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} t + \phi\right)$$

1. Que représentent A et T pour l'onde progressive sinusoïdale qui se propage à la surface de l'eau ?
Déterminer A et T.

2. On considère pour la suite que $\phi = \dfrac{\pi}{2}$ rad.

Quelle est la coordonnée z à la date $t = 10$ s ?

3. À quelles dates le ballon est-il au niveau $z = 0$ m ? On ne donnera que les dates inférieures à 1,5 s.

33 La piscine

1. A représente l'amplitude de l'onde progressive sinusoïdale et T sa période.

$A = 1{,}5$ cm et $T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{2{,}5\ \text{Hz}} = 0{,}40$ s.

2. $z(t = 10\ \text{s}) = 1{,}5\ \text{cm} \times \cos\left(\dfrac{2\pi}{0{,}40\ \text{s}} \times 10\ \text{s} + \dfrac{\pi}{2}\right) = -1{,}4$ cm.

L'élongation à $t = 10$ s est $-1{,}4$ cm.

3. $z(t) = 0 = 1{,}5\ \text{cm} \times \cos\left(\dfrac{2\pi}{0{,}40\ \text{s}} \times t + \dfrac{\pi}{2}\right)$ or $\cos x = 0$ si $x = \left(k + \dfrac{1}{2}\right)\pi$ avec k un entier.

Donc $\dfrac{2\pi}{0{,}40} t + \dfrac{\pi}{2} = \left(k + \dfrac{1}{2}\right)\pi$, il vient $t = 0{,}2k$.

Le ballon est au niveau $z = 0$ m pour $t = 0{,}2$ s ; 0,4 s ; 0,6 s ; 0,8 s ; 1,0 s ; 1,2 s et 1,4 s.

34 Foyer d'ondes sismiques

CORRIGÉ — 40 min

Exploiter des informations ; effectuer des calculs ; rédiger une explication.

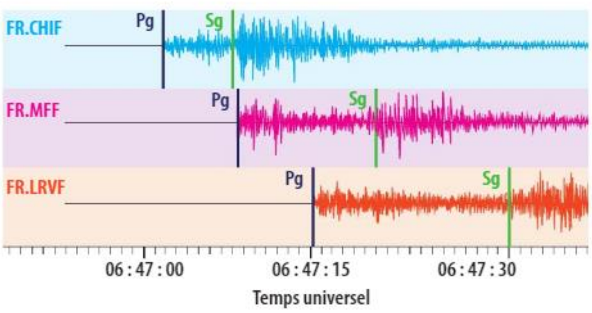
A Les ondes sismiques

Lors d'un séisme, des ondes naissent au foyer et traversent la Terre. Elles se succèdent et se superposent sur les enregistrements des sismomètres. Leur vitesse de propagation et leur amplitude sont modifiées par les structures géologiques traversées. C'est pourquoi les signaux enregistrés sont la combinaison d'effets liés à la source, aux milieux traversés et aux instruments de mesure.

Parmi les ondes sismiques, on distingue :
– les ondes P qui sont des ondes de compression ; leur célérité v_P vaut en moyenne $v_P = 6{,}0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$.
– les ondes S appelées ondes de cisaillement ; leur célérité v_S vaut en moyenne $v_S = 3{,}5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$.

B Les courbes de sismographes

Les courbes ci-dessous ont été obtenues par trois sismographes. Les repères Pg et Sg correspondent respectivement à l'arrivée des ondes P et S sur le sismographe après leur propagation depuis le foyer.



1. Dans quel milieu matériel les ondes sismiques se propagent-elles ? Quelle propriété du milieu permet cette propagation ? Utiliser le réflexe 1

2. À partir des courbes B, recopier et compléter le tableau ci-dessous donnant les dates t_P et t_S d'arrivée des ondes P et S dans chaque station (arrondies à la seconde la plus proche).

Station	t_P	t_S	Différence $t_S - t_P$
FR.CHIF	06 h 47 min 02 s	06 h 47 min 08 s	6 s
FR.MFF	06 h 47 min 08 s	06 h 47 min 21 s	
FR.LRVF			

3. Soit d la distance qui sépare la station d'enregistrement du lieu où le séisme s'est produit et t_0 la date inconnue du séisme.

Exprimer la célérité notée v_S des ondes S en fonction de la distance d parcourue et des dates t_S et t_0. Faire de même pour les ondes P avec la vitesse v_P et les dates t_P et t_0. Utiliser le réflexe 2

4. À partir de la réponse précédente, exprimer $t_S - t_0$ et $t_P - t_0$ puis l'expression $t_S - t_P$ en fonction de d, v_P et v_S.

5. En déduire l'expression de la distance d :

$$d = \frac{v_S \times v_P}{v_P - v_S} \times (t_S - t_P).$$

6. Calculer la valeur numérique de cette distance d pour chacune des stations.

7. Comment déterminer la position du foyer du séisme ?

8. Citer deux sources d'erreurs possibles lors de ces déterminations.

34 Foyer d'ondes sismiques (40 min)

1. Les ondes sismiques se propagent dans la Terre. Grâce à l'élasticité du sol, la perturbation se transmet de proche en proche.

2. Le tableau est complété par lecture du doc. B :

Station	t_p	t_s	$t_s - t_p$
FR.CHIF	06 h 47 min 02 s	06 h 47 min 08 s	6 s
FR.MFF	06 h 47 min 08 s	06 h 47 min 21 s	13 s
FR.LRVF	6 h 47 min 15 s	6 h 47 min 33 s	18 s

3. $v_s = \dfrac{d}{t_s - t_0}$ et $v_p = \dfrac{d}{t_p - t_0}$.

4. $t_s - t_0 = \dfrac{d}{v_s}$ et $t_p - t_0 = \dfrac{d}{v_p}$.

Il vient $t_s - t_p = \dfrac{d}{v_s} - \dfrac{d}{v_p}$.

5. $t_s - t_p = d \times \left(\dfrac{1}{v_s} - \dfrac{1}{v_p}\right) = d \times \dfrac{v_p - v_s}{v_s \times v_p}$

D'où $d = \dfrac{v_p \times v_s}{v_p - v_s} \times (t_s - t_p)$.

6. Pour la station FR.CHIF,

$d_1 = \dfrac{6{,}0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1} \times 3{,}5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}}{6{,}0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1} - 3{,}5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}} \times 6\ \text{s} = 5 \times 10^1$ km ;

Pour la station FR.MMF,

$d_2 = \dfrac{6{,}0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1} \times 3{,}5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}}{6{,}0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1} - 3{,}5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}} \times 13\ \text{s} = 1{,}1 \times 10^2$ km ;

Pour la station FR.LRVF,

$d_3 = \dfrac{6{,}0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1} \times 3{,}5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}}{6{,}0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1} - 3{,}5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}} \times 18\ \text{s} = 1{,}5 \times 10^2$ km.

7. On trace sur une carte, trois cercles à l'échelle centrés sur les trois stations de rayons respectifs d_1, d_2 et d_3. Le point d'intersection entre ces trois cercles correspond au foyer du séisme.

8. – La détermination de $t_s - t_p$ est approximative sur les courbes du sismographe et de ce fait la valeur de d calculée l'est aussi ;
– les valeurs des distances d sont calculées dans l'hypothèse où les ondes sismiques se propagent en ligne droite et à la surface de la Terre.