

## P4. Ondes mécaniques progressives

### Exercices

#### Exercice 1 : Célérité d'une onde

##### A. Célérité des ondes sismiques

À l'instar d'une cloche qui vibre, la Terre est secouée de tremblements incessants. Cependant, les tremblements de terre plus importants provoquent des ondes sismiques qui se propagent sur de grandes profondeurs et sur de grandes distances.

1. Pourquoi les ondes sismiques n'ont-elles pas la même vitesse en différents points du globe terrestre ?

Le 16 mars 1999, au Québec, un tremblement de terre a été détecté près de l'épicentre à 7 h 50 min 52 s. Une station de détection sismique située à 61 km l'a détecté à 7 h 51 min 17 s.

2. Calculer la célérité moyenne de ces ondes sismiques de surface.

##### B. Célérité d'une onde à la surface de l'eau

Dans une piscine, on a disposé deux bouchons lestés A et B. On lâche un caillou dans une direction voisine de B : des rides se propagent à la surface de l'eau. On déclenche un chronomètre lorsque la première ride atteint A, puis on le stoppe lorsqu'elle arrive en B. On appelle  $\tau$  la durée mesurée.

1. Quel type d'onde se propage à la surface de l'eau ?
2. Représenter en coupe la surface de l'eau à un instant donné.
3. L'onde transporte-t-elle de la matière ou de l'énergie ? Justifier la réponse en expliquant le mouvement des bouchons.

Au cours d'une expérience, on a obtenu les résultats ci-contre :

4. Calculer la valeur moyenne de la célérité des ondes à la surface de l'eau.

d = AB (en m)	1	1,6	2,2
$\tau$ (en s)	2,8	4,3	5,8

#### ☆ Exercice 2 : Comme les indiens ...

Sur une canalisation en acier dans laquelle circule de l'eau, on provoque un choc. Un capteur, situé à une distance  $d$  détecte deux signaux sonores brefs séparés par une durée  $\tau = 1,8$  s. Déterminer la distance  $d$ .

Données : célérité du son dans l'acier  $v_A = 5,0$  km.s<sup>-1</sup>

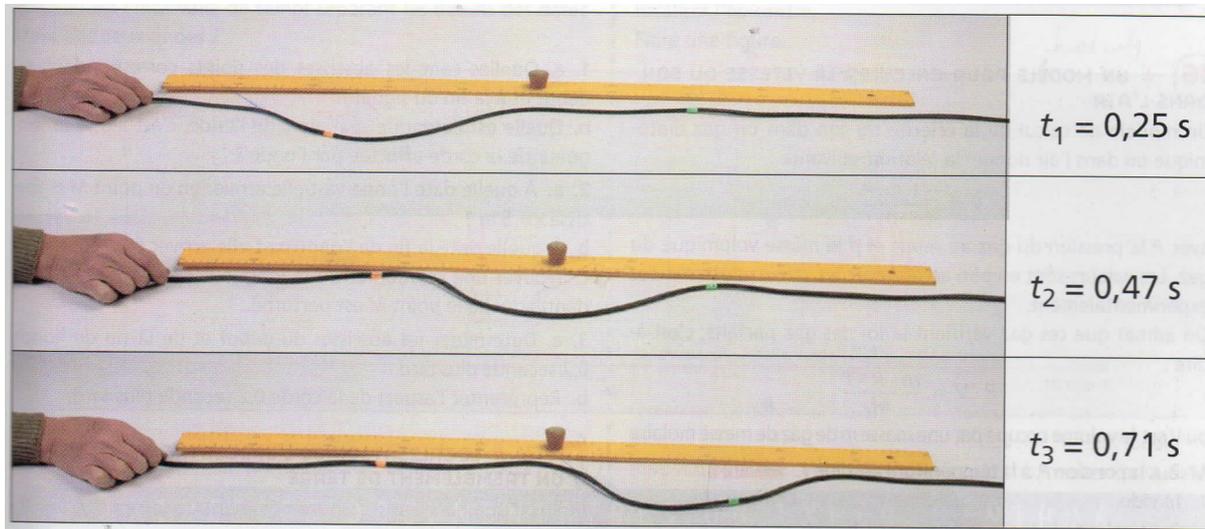
célérité du son dans l'eau  $v_E = 1,5$  km.s<sup>-1</sup>

Conseil : modéliser chaque information par une équation littérale... puis résoudre le système

#### Exercice 3 : Détermination de la célérité d'une onde le long d'une corde

Une corde est posée sur un sol lisse. On imprime une secousse brève à l'une de ses extrémités. À l'aide d'une caméra, on filme la propagation le long de la corde ; on précise que la date  $t=0$  de l'enregistrement ne correspond pas au départ de l'onde. On obtient à différents instants, l'aspect de la corde (page suivante). La règle jaune a pour longueur 1 m.

1. Quelle est la nature de l'onde ?
2. De quelles distances s'est propagée l'onde entre les instants  $t_2$  et  $t_3$  d'une part, et  $t_1$  et  $t_2$ , d'autre part ?
3. En déduire la célérité de l'onde.
4. À quelle date l'onde atteint-elle le point M (situé au repère 70 cm) ?
5. À quelle date l'onde aura-t-elle dépassé ce point ?
6. Représenter l'allure de la corde à l'instant  $t' = 0,15$  s.



#### Exercice 4 : Localisation de l'épicentre d'un tremblement de terre

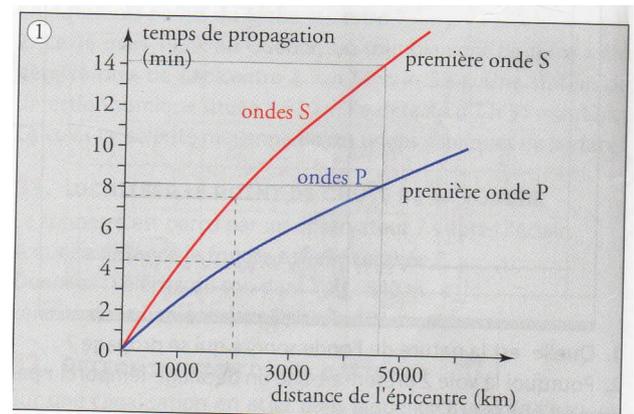
Moins d'une heure après un tremblement de terre, les scientifiques sont en mesure de déterminer son épicentre. Les ondes émises par un séisme sont de 3 types :

- les ondes P sont des vibrations longitudinales de compression ; ce sont les plus rapides, leur vitesse de propagation atteignant 3,5 à 14 km/s, suivant la nature des roches et la profondeur de propagation ;
- les ondes S sont des ondes transversales de cisaillement, perpendiculaires à la direction de propagation ; elles sont moins rapides que les ondes P (la valeur de la vitesse des ondes P est environ 1,7 fois celle des ondes S) ;
- les ondes L sont des ondes superficielles ; elles sont plus lentes encore que les ondes S.

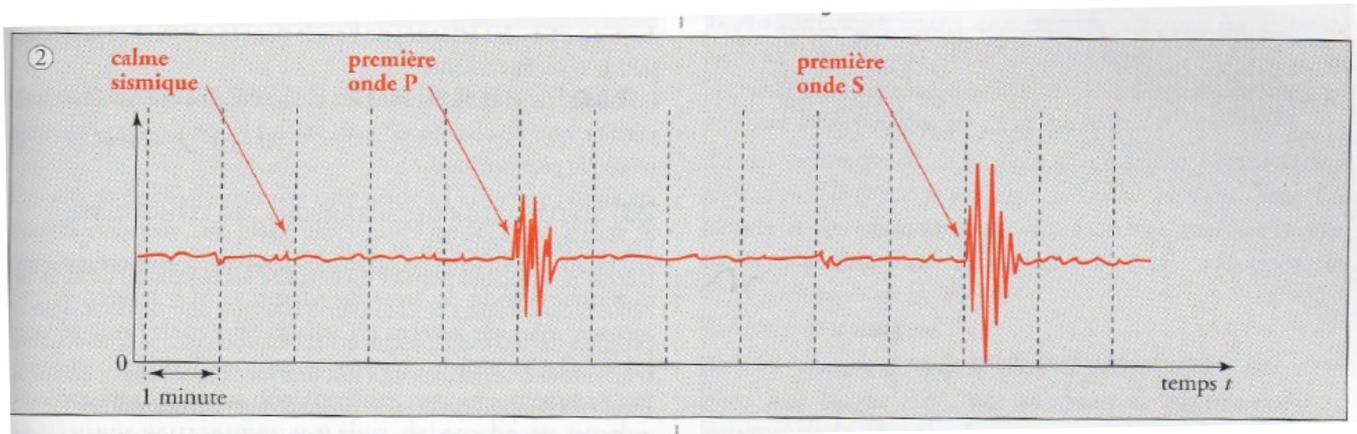
Les ondes sismiques sont enregistrées en plusieurs points du globe par des sismographes. En un lieu donné, il y a, sur l'enregistrement sismographique, un décalage entre le début d'enregistrement des 2 types d'ondes P et S.

Les vitesses de propagation de ces 2 types d'ondes dans la croûte terrestre sont connues et on possède des courbes étalonnées, comme ci-contre (doc. 1).

1. Vérifier (sans rédiger la réponse) la bonne compréhension des termes : épicentre, séisme, onde de compression, onde de cisaillement, onde superficielle, sismographe.
2. En examinant le doc. 1, indiquer si les vitesses des ondes S ou P sont constantes. Si elles ne sont pas constantes, expliquer pourquoi.
3. Calculer la vitesse moyenne des ondes S et P lors d'un parcours de 2000 km.



Lors d'un séisme, on a détecté le signal ci-dessous (doc. 2).

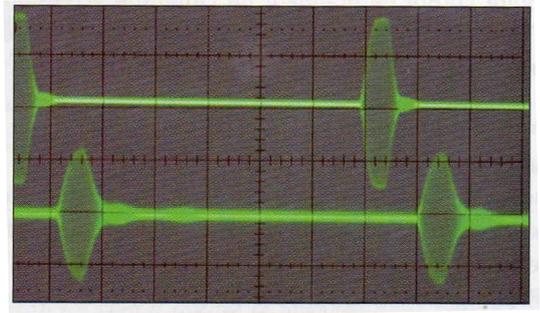


4. Quelle est l'onde détectée en premier ? Est-ce logique ?
5. Quel est l'intervalle de temps séparant les débuts des détections des deux ondes ?
6. A l'aide du doc. 1, déterminer la distance à l'épicentre.
7. Montrer qu'avec au moins trois stations de détection, on peut localiser l'épicentre. Faire une figure explicative.

### Exercice 5 : Mesure de la vitesse des ultrasons dans l'air

Deux récepteurs d'ultrasons  $R_1$  et  $R_2$  sont placés en face d'un émetteur E de salves d'ultrasons. Chacun des récepteurs  $R_1$  et  $R_2$  est branché sur l'une des entrées d'un oscilloscope (voie A et B respectivement).

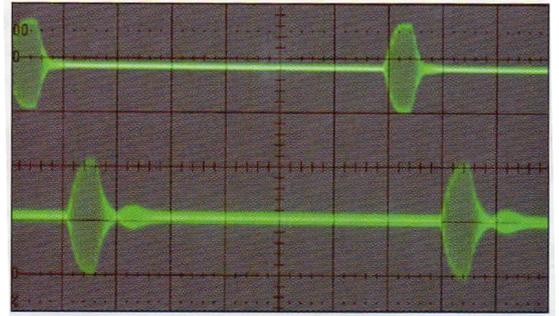
Le récepteur  $R_2$  le plus éloigné de l'émetteur est aligné avec E et  $R_1$ , à la distance  $d = 0,8$  m de  $R_1$ . On obtient l'oscillogramme ci-contre. La base de temps de l'oscilloscope est réglée sur 2 ms/div.



Calculer la vitesse des ultrasons dans l'air.

#### ★ Variante :

Un émetteur d'ultrasons E et un récepteur R sont placés côte à côte face à une paroi réfléchissante. L'émetteur émet des salves d'ultrasons. La tension de sortie de l'émetteur est appliquée à l'une des voies de l'oscilloscope. La tension délivrée par le récepteur est appliquée à l'autre voie de l'oscilloscope. La sensibilité de déviation horizontale est 2 ms/div. On obtient les oscillogrammes ci-contre.



1. Expliquer l'aspect de ces oscillogrammes.
2. Sachant que la célérité des ultrasons dans l'air est égale à celle du son dans l'air, déterminer la distance séparant le couple émetteur-récepteur de la paroi réfléchissante.

### Exercice 6 : Echographie

En échographie, pour explorer le cœur, on utilise des ondes ultrasonores de fréquence 2,00 MHz.

1. Les ondes ultrasonores sont des ondes mécaniques car elles se propagent uniquement dans la matière.
  2. Quelle est leur longueur d'onde dans l'air sachant que leur vitesse de propagation y est égale à 340 m/s ?
- Dans les tissus cellulaires, leur vitesse de propagation est de l'ordre de 1,5 km/s.
3. Déterminer leur fréquence et leur longueur d'onde dans les tissus cellulaires.

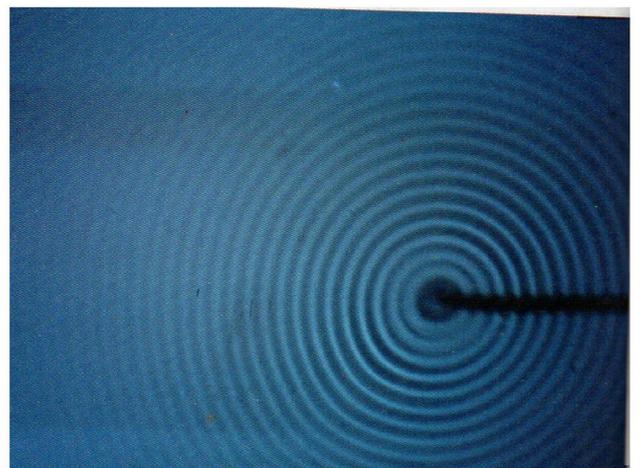
### Exercice 7 : Ondes à la surface de l'eau

Un vibreur dont la fréquence est égale à 50 Hz produit des ondes circulaires à la surface de l'eau (la photographie ci-contre est reproduite à l'échelle 1/3).

1. Calculer la célérité de l'onde.
2. Préciser la nature et les caractéristiques de cette onde.

Une seconde après le début de l'émission, celle-ci s'interrompt durant 0,4 seconde puis reprend.

3. Schématiser l'allure de la surface de l'eau.
4. Calculer la différence des rayons des deux fronts d'ondes successifs (différence de rayons entre la fin du premier front d'onde et le début du second).



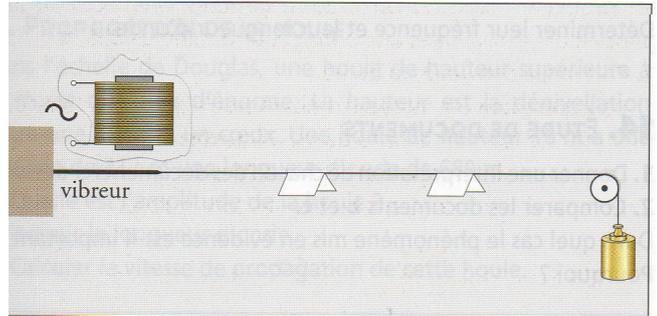
### Exercice 8 : Propagation d'une onde sur une corde

Une corde est disposée comme l'indique le schéma ci-contre (expérience de Melde). Le vibreur a une fréquence de 100 Hz. La corde, de longueur 80 cm et de masse 1 g, est tendue par un poids de 1,2 N. Deux cavaliers  $M_1$  et  $M_2$  sont disposés sur cette corde à des distances  $x_1$  et  $x_2$  du vibreur.

On donne l'expression de la célérité  $v$  des ondes transversales se propageant sur une corde :

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \text{où } F \text{ est la tension de la corde (en N)}$$

et  $\mu$  la masse linéique de la corde c'est-à-dire la masse par unité de longueur (en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ ).



1. Calculer la célérité de l'onde qui se propage dans la corde.
2. Quelles conditions doivent remplir les distances  $x_1$  et  $x_2$  pour que  $M_1$  et  $M_2$  vibrent en phase ?
3. Quelles conditions doivent remplir les distances  $x_1$  et  $x_2$  pour que  $M_1$  et  $M_2$  vibrent en opposition de phase ?

### Exercice 9 : Vibrations sonores

Un haut-parleur, assimilé à une source ponctuelle  $S$ , est alimenté par un générateur basse fréquence. La fréquence des vibrations électriques appliquées à l'entrée du haut-parleur est réglable. Les ondes sonores émises sont assimilées à des ondes sphériques. La célérité du son est égale à  $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

En un point  $M$  situé à une distance  $d = 2,0 \text{ m}$  de  $S$ , on place un microphone, lui aussi considéré comme ponctuel.

1. Pour quelles valeurs de la fréquence, les vibrations du haut-parleur et du microphone sont-elles :
  - en phase ?
  - en opposition de phase ?

On fixe la fréquence à 510 Hz.

2. Préciser les positions des points vibrant en phase avec  $M$ .
3. Quel est le nombre de points vibrant en phase avec  $M$  sur le segment  $[SM]$  ?

On fixe la fréquence à 550 Hz.

4. De quelle distance minimale faut-il éloigner ou rapprocher le microphone sur le segment  $[SM]$  pour détecter une vibration sonore en phase avec la source ?

### Exercice 10 : Observation avec le stroboscope

Un vibreur, de fréquence 60 Hz, émet des ondes circulaires à la surface de l'eau d'une cuve à ondes. On provoque l'immobilité apparente du phénomène observé, avec un stroboscope.

1. Quelles sont les fréquences possibles des éclairs ?

On choisit la plus grande des fréquences trouvées et on profite de l'immobilisation apparente pour faire une mesure approchée de la distance qui sépare la deuxième crête de la douzième. On trouve 5,0 cm.

2. Quelle est la longueur d'onde ?
3. Quelle est la célérité de l'onde progressive ?
4. Dans quelles conditions les ondes émises par un vibreur à la surface de l'eau ne seraient-elles plus circulaires ? Proposer une expérience dans laquelle les ondes ne seraient plus circulaires.