

# Thème : Ondes et information

## Chapitre : Notion d'onde

### Objectifs :

- Citer des exemples d'ondes mécaniques (sonores, sismiques, etc.) et leurs milieux matériels de propagation.
- Distinguer le cas particulier de l'onde électromagnétique qui ne nécessite pas de milieu matériel de propagation.
- Associer la propagation d'une onde à un transfert d'énergie sans déplacement de matière.
- Distinguer une onde longitudinale d'une onde transversales.
- Mettre en œuvre un guide d'onde.
- Définir et déterminer (par une mesure ou un calcul) les grandeurs physiques caractéristiques associées à une onde périodique.
- Pour une onde sinusoïdale, citer et exploiter la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence.
- Associer une onde à une perturbation qui se propage, dont les caractéristiques peuvent transporter des informations.
- Associer le transport de l'information à la propagation entre l'émetteur et le récepteur d'une onde modulée selon un code donnée.
- Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'observer les phénomènes de transmission, d'absorption et de réflexion d'une onde.

### Sommaire

|   |          |  |          |
|---|----------|--|----------|
| <b>1. Cours</b>   | <b>2</b> | <b>2. Activité 1 : Caractéristiques d'une onde.</b>    | <b>4</b> |
| 1.1 Notion d'onde . . . . .                                   | 2        |  |          |
| 1.2 Période et fréquence . . . . .                            | 2        | <b>3. Activité 2 : Observer la propagation du son.</b> | <b>5</b> |
| 1.3 Célérité et longueur d'onde . . . . .                     | 3        |  |          |
| 1.4 Onde et transport de l'information . . . . .              | 3        | <b>4. Activité 3 : Modulation d'un signal radio</b>    | <b>7</b> |
| 1.5 Transmission, absorption et réflexion des ondes . . . . . | 3        | <b>5. Exercices</b>                                    | <b>8</b> |

# 1. Cours

## 1.1 Notion d'onde

Définir la notion d'onde.

.....

.....

.....

Énoncer la différence entre une onde transversale et longitudinale.

.....

.....

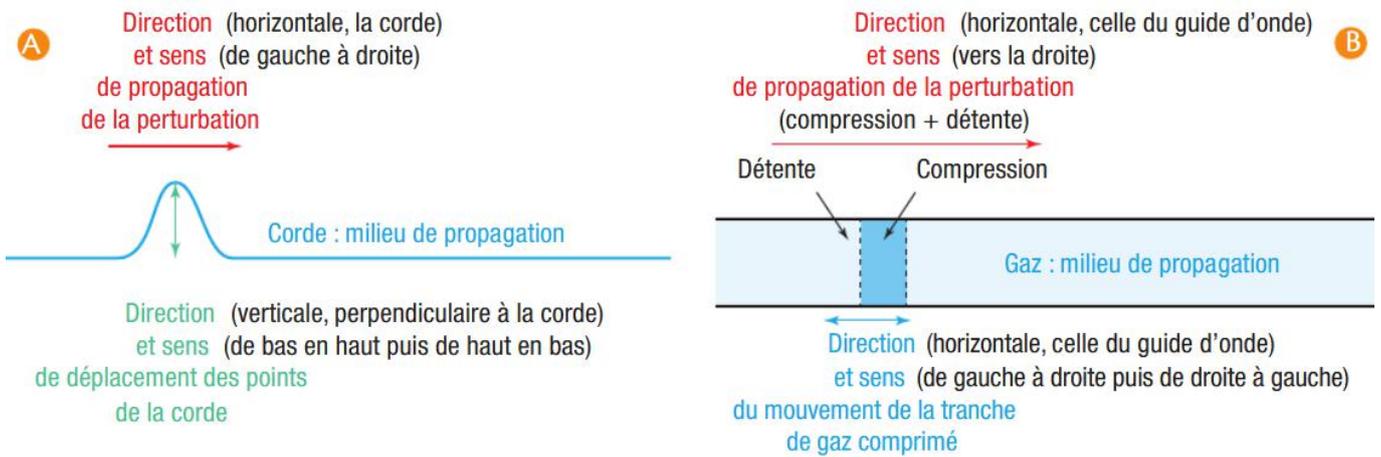


FIGURE 1 – Exemple d'onde transversale (A) et d'onde longitudinale (B)

## 1.2 Période et fréquence

Si une source impose une perturbation périodique au milieu de propagation, alors une onde progressive périodique (OPP) se propage.

Qu'est-ce qui caractérise une OPP ?

.....

.....

Définir la relation entre la période  $T$  et la fréquence  $f$  :

.....

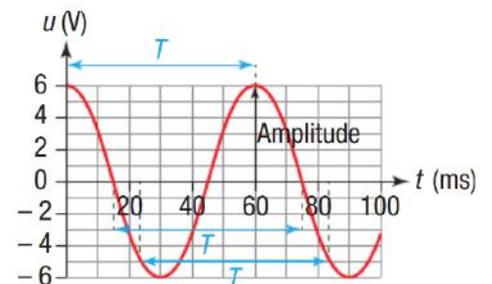


FIGURE 2 – Oscillogramme d'une OPP de période  $T = 60,0 \text{ ms}$  et de fréquence  $f = 16,6 \text{ Hz}$ .

### 1.3 Célérité et longueur d'onde

Comment appelle-t-on la vitesse de propagation d'une onde ?

.....  
.....

Définir la notion de longueur d'onde ?

.....  
.....

Définir la relation entre la longueur d'onde  $\lambda$ , la période  $T$  et la célérité  $v$  :

.....

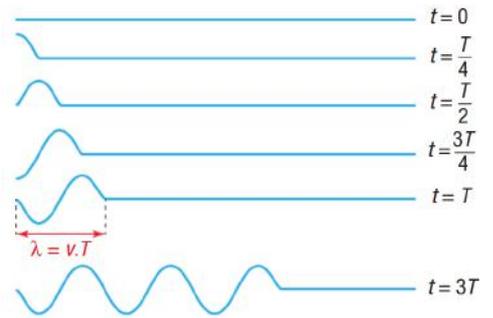


FIGURE 3 – Aspect d'une corde, à différents instants, subissant une vibration périodique sinusoïdale. Il apparaît une répétition du motif de la vibration pour une distance appelée longueur d'onde  $\lambda$ .

### 1.4 Onde et transport de l'information

Pour une onde sinusoïdale,  $u(t) = U \times \cos(2\pi \times f \times t)$ , on peut moduler son **amplitude**  $U$  ou sa **fréquence**  $f$  et ainsi propager une information selon un code donné.

Que doit-on distinguer lors d'une **modulation** ?

— .....  
— .....  
— .....

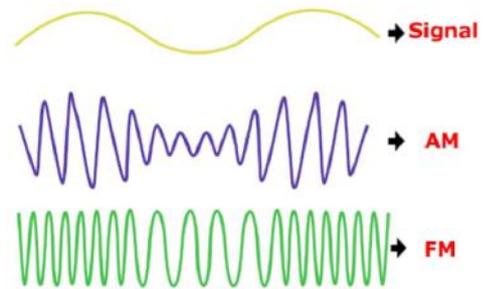


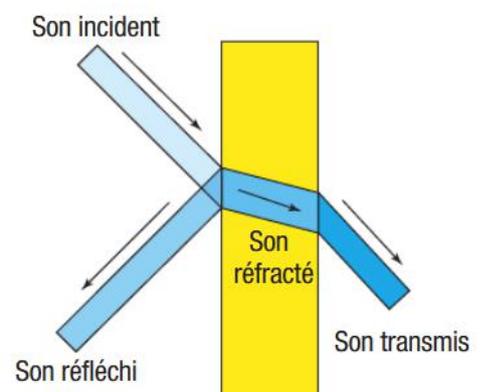
FIGURE 4 – Signal, modulation d'amplitude et de fréquence.

### 1.5 Transmission, absorption et réflexion des ondes

Que se passe-t-il lorsqu'une onde rencontre un matériau ?

— .....  
— .....  
— .....

L'énergie sonore est d'autant mieux réfléchi que le matériau est dur. Elle est d'autant plus absorbée que le matériau est mou.



## 2. Activité 1 : Caractéristiques d'une onde.

**Objectif :**

- Citer des exemples d'ondes mécaniques (sonores, sismiques, etc.) et leurs milieux matériels de propagation.
- Distinguer le cas particulier de l'onde électromagnétique qui ne nécessite pas de milieu matériel de propagation.
- Distinguer une onde longitudinale d'une onde transversales.



FIGURE 1 – Les vagues.

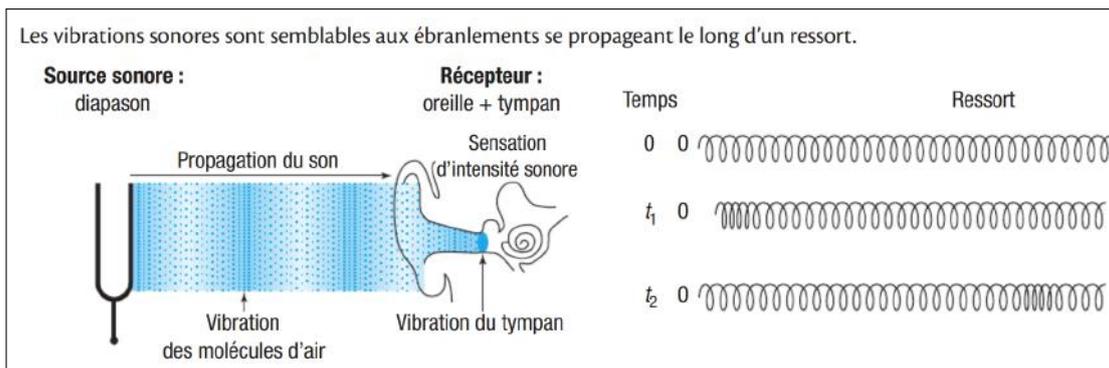


FIGURE 2 – Les sons.

- Une onde est dite **transversale** si la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation.
- Dans le cas où elles sont parallèles l'une à l'autre, on parle d'onde **longitudinale**.
- Une onde est dite **mécanique** si elle a besoin d'un support matériel pour se propager.

FIGURE 3 – Quelques définitions.

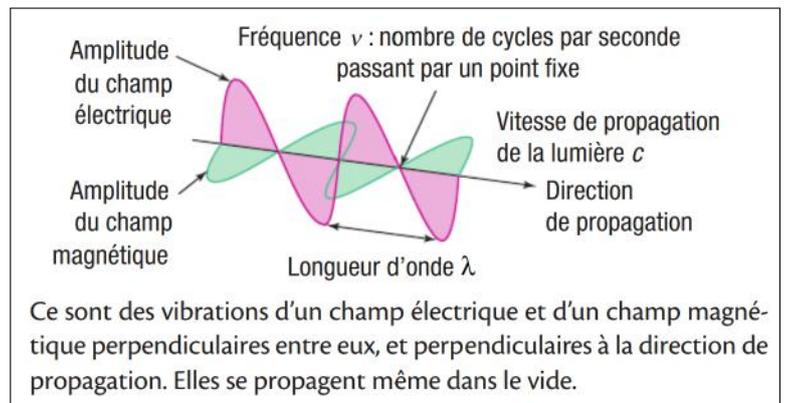


FIGURE 4 – Les ondes électromagnétiques.

1. Les vagues sont-elles des ondes transversales ou longitudinales? Même question pour les ondes sonores et les ondes électromagnétiques.
2. Les vagues sont-elles des ondes mécaniques? Même question pour les ondes sonores et les ondes électromagnétiques.
3. Quelles sont les grandeurs caractérisant une onde ?

### 3. Activité 2 : Observer la propagation du son.

#### Objectif :

- Mettre en œuvre un guide d'onde.
- Définir et déterminer (par une mesure ou un calcul) les grandeurs physiques caractéristiques associées à une onde périodique.
- Pour une onde sinusoïdale, citer et exploiter la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence.
- Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'observer les phénomènes de transmission, d'absorption et de réflexion d'une onde.

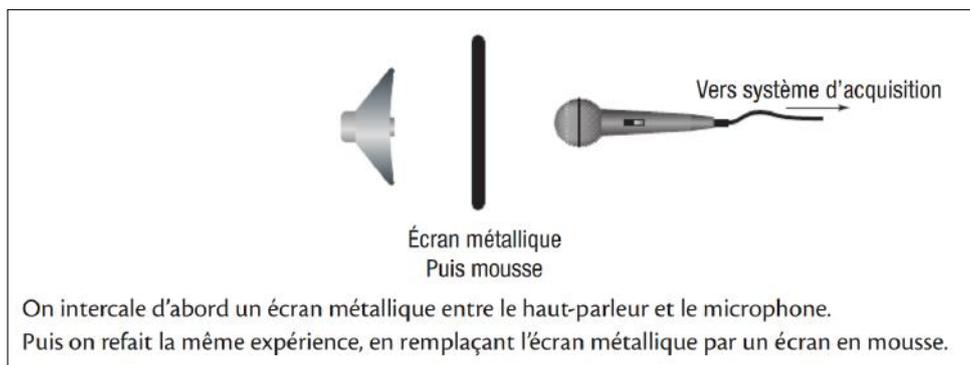
Les ondes sonores sont celles qui nous sont les plus familières, tantôt graves, tantôt aigues, mélodiques ou dissonantes parfois faibles comme un souffle et parfois fortes au point d'être nuisibles. Par l'entremise de nos goûts et notre oreille qui en est le capteur, ces qualificatifs subjectifs. Nous allons tenter de préciser quelques unes des grandeurs physiques associées.

#### Mesure de la célérité du son dans l'air



1. À partir de la figure ci-dessus, du matériel mis à disposition sur la table et de la notice d'utilisation de Latis Pro (<http://acver.fr/ltn>), **élaborer** un protocole expérimentale afin de mesurer la vitesse du son.
2. À partir de vos mesures, **indiquer** les valeurs de longueur d'onde  $\lambda$ , période  $T$  et fréquence  $f$  du signal.
3. **En déduire** la valeur de la célérité du son. **Comparer** cette valeur avec la valeur théorique  $c = 340 \text{ m.s}^{-1}$ .
4. Que devient l'amplitude du son réceptionné lorsque l'on déplace le micro autour du haut-parleur en gardant la distance HP-micro constante ?
5. Même question lorsque l'on éloigne le micro du HP ?

#### Transmission, absorption et réflexion

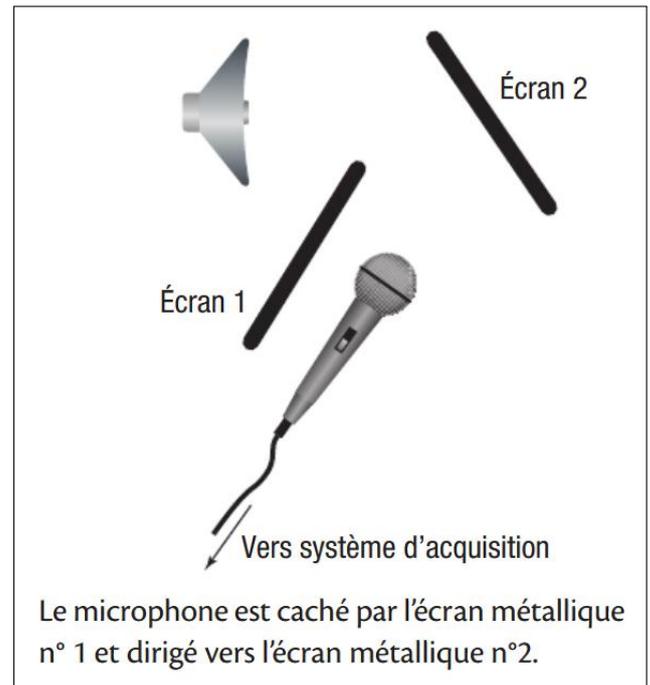


En gardant le même dispositif que la partie précédente, et en utilisant un écran et une mousse, **mesurer** le signal reçu par le micro.

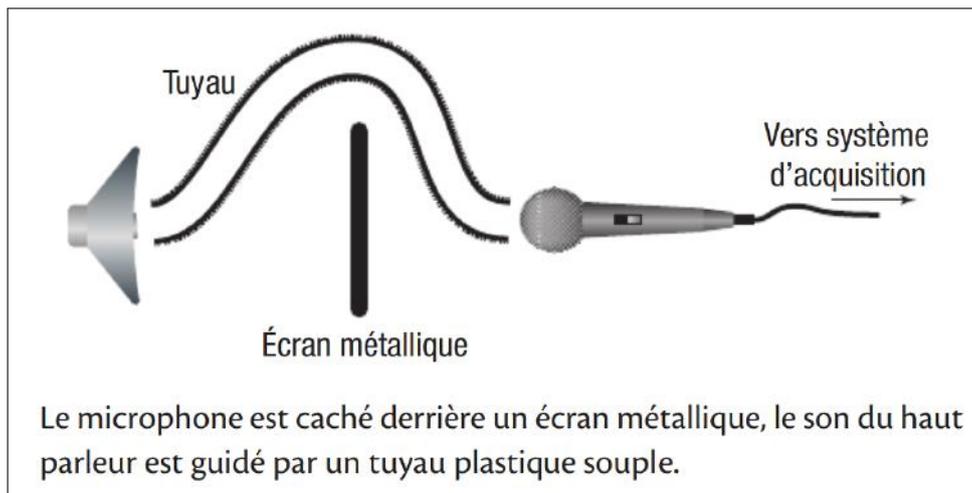
6. **Indiquer** si la fréquence/longueur d'onde émise et reçue sont identiques ou différentes.
7. Que devient l'amplitude du son réceptionné lorsque l'on interpose un écran entre le micro et le HP ? Même question pour une mousse. **Indiquer** la valeur des différentes amplitudes.
8. Que peut-on dire sur la capacité de l'écran et de la mousse à absorber l'énergie de l'onde émise ?

Mettre en place le dispositif décrit par la figure ci-contre.

9. Que devient l'amplitude du son réceptionné lorsque l'écran 2 est présent et lorsqu'il est absent ?



## Guide d'onde



En s'inspirant de la figure ci-dessus et en utilisant le matériel mis à disposition, **mettre en place** un dispositif de guidage d'onde.

10. Que devient l'amplitude du son réceptionné en présence et en l'absence du guide ?

11. Bilan :

- Proposer un schéma afin de mettre en image les différentes observations que l'on peut faire lorsqu'une onde "rencontre" un objet.
- Quel est l'intérêt d'utiliser un guide d'onde ?

## 4. Activité 3 : Modulation d'un signal radio

### Objectif :

- Distinguer le cas particulier de l'onde électromagnétique qui ne nécessite pas de milieu matériel de propagation.
- Associer une onde à une perturbation qui se propage, dont les caractéristiques peuvent transporter des informations.
- Associer le transport de l'information à la propagation entre l'émetteur et le récepteur d'une onde modulée selon un code donnée.

Nous ne captions pas les ondes émises par les stations de radio sans un récepteur radio. Cela signifie que les informations ne voyagent pas sous forme sonore (ondes de pression de l'air). Elles sont en fait transformées au départ de la station émettrice en signaux électriques par l'intermédiaire du microphone. Ces signaux électriques sont eux-mêmes convertis en signaux électromagnétiques émis par une antenne : ces ondes électromagnétiques peuvent voyager sur de longues distances, sans support matériel - et sans nous assourdir !

FIGURE 1 – Transmission des ondes radio

Pour qu'un auditeur puisse sélectionner qu'une seule radio à écouter alors que de nombreuses radios émettent en même temps, on utilise un système de cryptage du signal, qui rend chaque signal différentiable. On « greffe » le signal sur une onde porteuse. C'est la fréquence unique de cette onde porteuse que nos récepteurs d'ondes radio identifient.

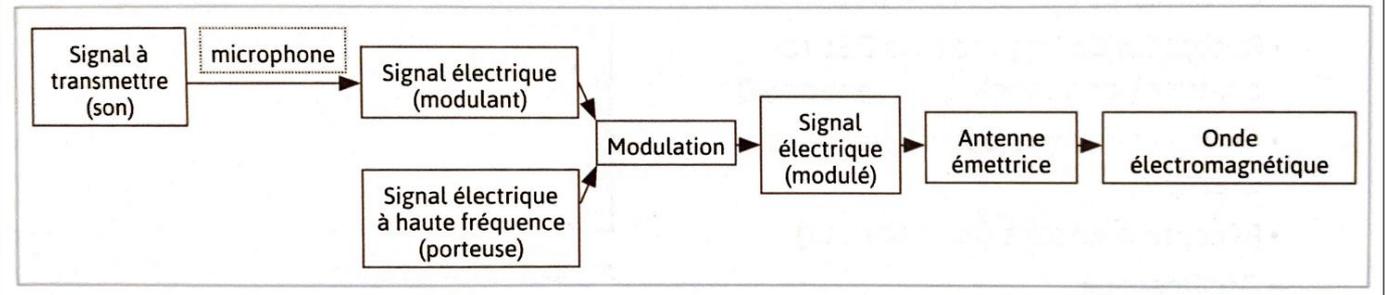


FIGURE 2 – Onde porteuse

En radio, il existe essentiellement deux types de modulation : la modulation d'amplitude (AM) et la modulation de fréquence (FM).

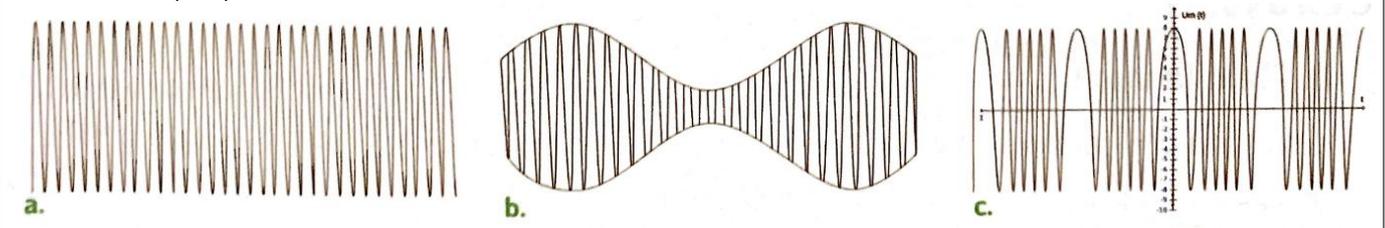


FIGURE 3 – (a) Onde porteuse. (b) Signal modulé en amplitude. (c) Signal modulé en fréquence.

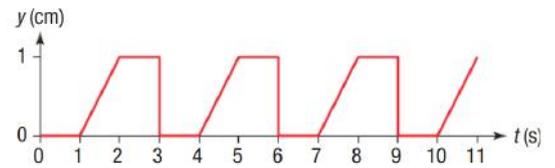
1. Quel appareil permet de convertir la voix en signal électrique ?
2. Quel appareil permet à une station de radio d'émettre des ondes ?
3. Les ondes émises par les stations de radio sont-elles des ondes électromagnétiques ou des ondes sonores ?
4. Pourquoi doit-on utiliser la modulation pour transmettre des informations ? Quels sont les deux types de modulation les plus courantes en radio ? Lequel écoutez-vous en général ?
5. Que représente le signal modulant dans une station de radio ? Que représente la porteuse ?
6. La fréquence du signal modulant est-elle plus petite ou plus grande que celle de la porteuse ?

## 5. Exercices

### Exercice 1

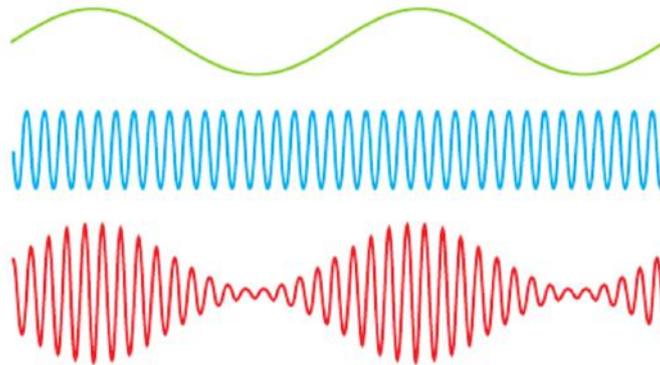
On fait subir à une extrémité  $S$  d'une corde, une perturbation dont l'amplitude en fonction du temps est donnée par le graphique ci-contre. Sachant que l'onde ainsi créée se propage le long de la corde à une célérité  $v = 4 \text{ m.s}^{-1}$ , **déterminer** :

- l'allure de la corde aux différents instants;
- la période  $T$  de l'onde;
- la longueur d'onde  $\lambda$ .



### Exercice 2

**Identifier** le signal modulant, l'onde porteuse et le signal modulé sur le schéma ci-dessous. **Préciser** si c'est une modulation d'amplitude ou de fréquence.

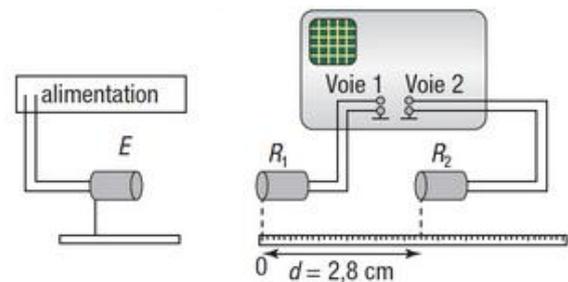


### Exercice 3

Au cours d'une séance de TP, un élève dispose du matériel suivant :

- un émetteur d'ultrasons  $E$  et son alimentation électrique;
- deux récepteurs d'ultrasons  $R_1$  et  $R_2$ ;
- un oscilloscope;
- une règle graduée.

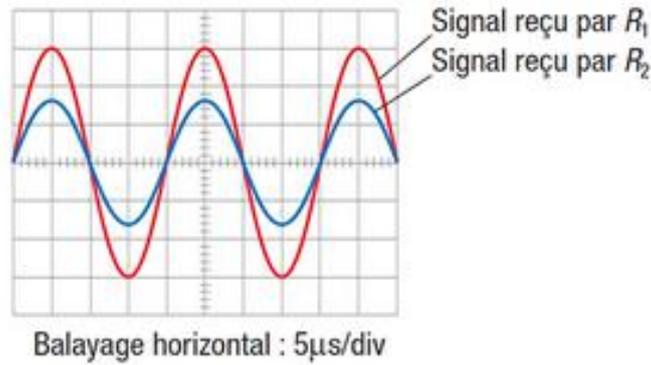
Il réalise le montage ci-contre.



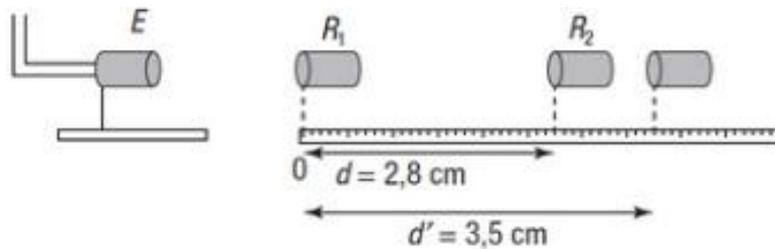
L'émetteur  $E$  génère une onde ultra-sonore progressive sinusoïdale qui se propage dans l'air jusqu'aux récepteurs  $R_1$  et  $R_2$ . L'émetteur et les deux récepteurs sont alignés.

Le récepteur  $R_1$  est placé au zéro de la règle graduée. Les signaux captés par les récepteurs  $R_1$  et  $R_2$  sont appliqués respectivement sur les voies 1 et 2 d'un oscilloscope pour être visualisés sur l'écran de celui-ci.

Lorsque le récepteur  $R_2$  est situé à  $d = 2,8 \text{ cm}$  du récepteur  $R_1$ , les signaux reçus par les deux récepteurs sont en phase. On observe l'oscillogramme ci-dessous sur l'écran.



1. **Déterminer** la fréquence  $f$  des ultrasons émis.
2. On éloigne lentement  $R_2$  le long de la règle ; on constate que le signal reçu par  $R_2$  se décale vers la droite ; on continue à éloigner  $R_2$  jusqu'à ce que les signaux reçus par  $R_1$  et  $R_2$  soient à nouveau en phase. On note  $R'_2$  la nouvelle position occupée par  $R_2$ . On relève la distance  $d'$  séparant désormais  $R_1$  de  $R'_2$  ; on lit :  $d' = 3,5 \text{ cm}$ .



**Définir** en une phrase la longueur d'onde  $\lambda$ . **Écrire** la relation entre la longueur d'onde  $\lambda$ , la célérité  $v$  des ultrasons dans le milieu et la période  $T$  des ultrasons.

3. **Exprimer** en fonction de la période  $T$  des ultrasons le retard  $\tau$  du signal reçu par  $R'_2$  par rapport à celui reçu par  $R_2$ . **En déduire** la longueur d'onde.
4. **Calculer** la célérité des ultrasons dans l'air.
5. On immerge en veillant à leur étanchéité, l'émetteur et les deux récepteurs  $R_1$  et  $R_2$  dans l'eau contenue dans une cuve de dimensions suffisantes. Sans changer la fréquence  $f$  de l'émetteur, on constate que pour observer deux signaux successifs captés par  $R_2$  en phase, il faut éloigner  $R_2$  et  $R_1$  sur une distance 4 fois plus grande que dans l'air. **Déterminer** la célérité des ultrasons dans l'eau.

### Exercice 4

Pour ouvrir un portail électrique, l'automobiliste utilise une télécommande produisant une onde électromagnétique de fréquence  $f = 433,92 \text{ MHz}$ .

1. Les ondes utilisées sont-elles des ondes mécaniques ? **Justifier**.
2. Sachant que la célérité des ondes électromagnétiques est de  $3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ , **déterminer** la longueur d'onde  $\lambda$  correspondante.

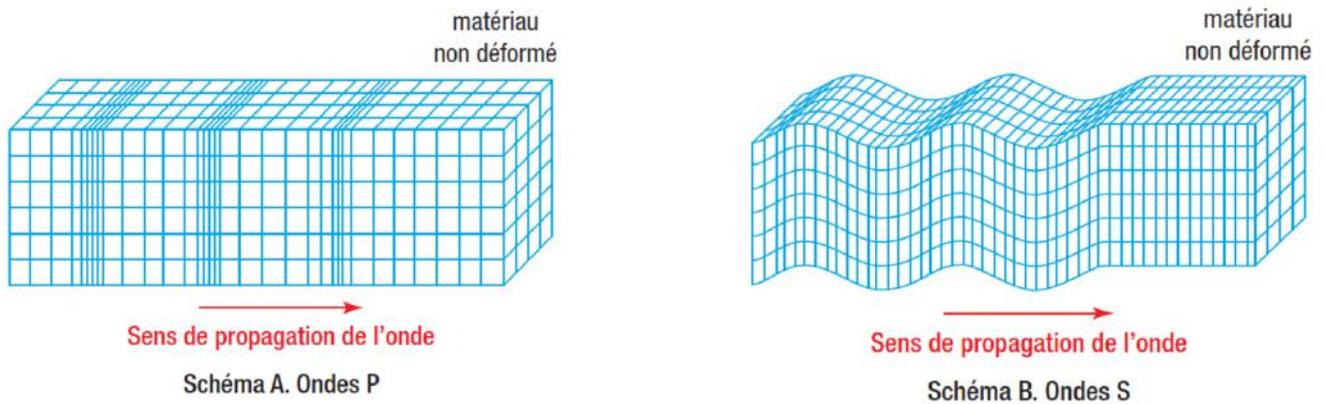
### Exercice 5

Lors d'un séisme, la Terre est mise en mouvement par des ondes de différentes natures, qui occasionnent des secousses plus ou moins violentes et destructrices en surface.

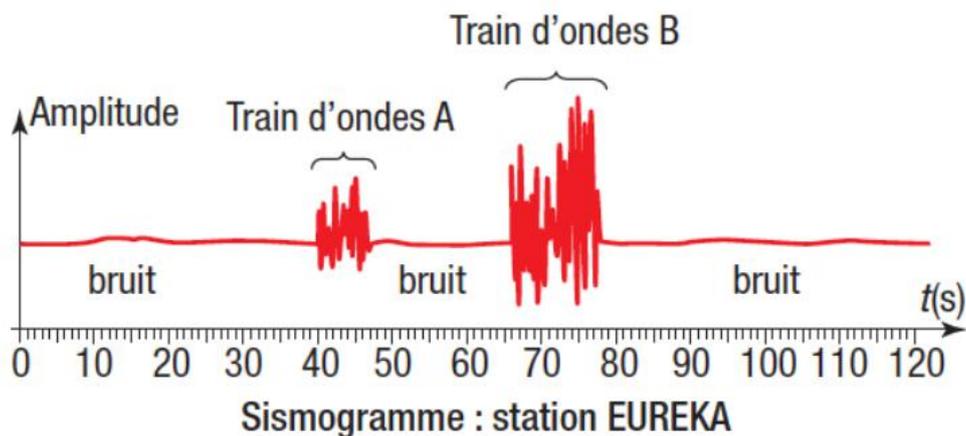
Parmi ces ondes, on distingue :

- Les ondes P, appelées aussi ondes de compression, sont des ondes longitudinales. Ce sont les plus rapides, elles se propagent dans les solides et les liquides.
- Les ondes S, appelées aussi ondes de cisaillement, sont des ondes transversales. Elles sont moins rapides et ne se propagent que dans les solides.

L'enregistrement de ces ondes par des sismographes à la surface de la Terre permet de déterminer l'épicentre du séisme (c'est à dire le lieu de naissance de la perturbation). Les schémas A et B modélisent, la progression des ondes sismiques dans une couche terrestre.



Un séisme s'est produit à San Francisco (Californie) en 1989. Le document ci-dessous présente le sismogramme obtenu, lors de ce séisme à la station EUREKA.



L'origine du repère ( $t = 0$  s) a été choisie à la date du début du séisme à San Francisco. Le sismogramme présente deux trains d'ondes repérés par A et B.

1. D'après le sismogramme, à quel type d'onde (S ou P) correspond chaque train ? **Justifier** votre réponse à l'aide du texte d'introduction.
2. Sachant que le début du séisme a été détecté à Eureka à 8h 15min 20s TU (Temps Universel), **déterminer** l'heure TU (h ; min ; s) à laquelle le séisme s'est déclenché à l'épicentre.
3. Sachant que les ondes P se propagent à une célérité moyenne de  $10 \text{ km.s}^{-1}$ , **calculer** la distance séparant l'épicentre du séisme de la station Eureka.
4. **Calculer** une valeur approchée de la célérité moyenne des ondes S.

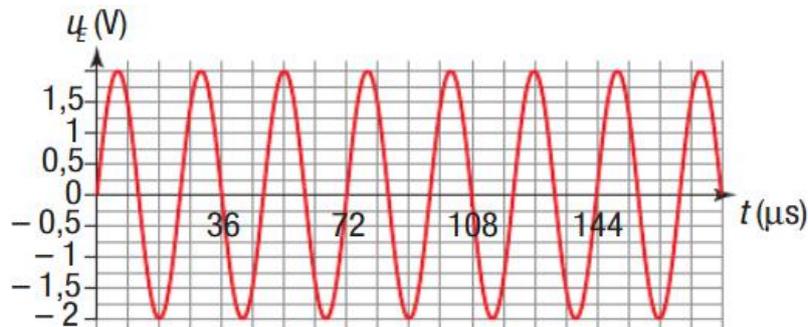
**Exercice 6**

On trouve dans le commerce des appareils de nettoyage utilisant les ultrasons. La figure ci-dessous décrit la première page de la notice d'un exemple d'appareil de ce type.

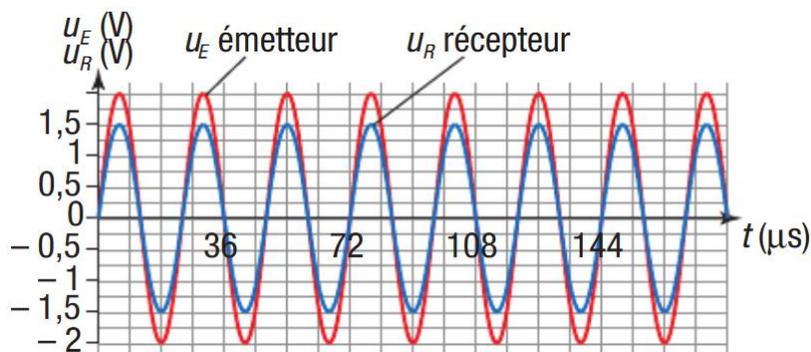
|   |  |
|---|--|
| <p><b>Descriptif</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• réservoir amovible en acier inoxydable</li> <li>• fréquence des ultrasons 42 kHz à <math>\pm 2\%</math></li> <li>• nettoyage facile des objets immergés dans l'eau sous l'effet des ultrasons</li> <li>• utiliser de préférence de l'eau fraîchement tirée du robinet.</li> </ul> |  |
|---|--|

**Partie 1 : Étude des ultrasons**

On souhaite étudier les ultrasons émis par l'appareil décrit dans la figure ci-dessus. Pour cela, on isole l'émetteur  $E$  à ultrasons de cet appareil et on visualise le signal émis à l'aide d'un capteur relié à la voie 1 d'un oscilloscope. Les mesures sont faites dans l'air à la température de  $20^\circ\text{C}$ . On obtient le signal  $u_E$ , suivant :



1. **Déterminer** la période  $T$  du signal représenté sur la figure. **Expliquer** la méthode.
2. **En déduire** la fréquence  $f$  des ultrasons. **Comparer** avec la valeur de référence.
3. On souhaite déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  des ultrasons. Pour cela, on visualise à la fois le signal émis par l'appareil et appliqué sur la voie 1 d'un oscilloscope et le signal  $u_R$  reçu par un récepteur  $R$  à ultrasons connecté sur la voie 2 de cet oscilloscope. On part d'une situation où les signaux délivrés par l'émetteur  $E$  et le récepteur  $R$  placé en face sont en phase. On s'aperçoit que lorsque l'on s'éloigne le récepteur  $R$  tout en restant en face de l'émetteur fixe  $E$ , la courbe qui correspond au récepteur se décale vers la droite. Les signaux obtenus sont représentés sur la figure ci-dessous lorsque les courbes reviennent pour la première fois en phase. On détermine la distance dont a déplacé le récepteur  $R$  lorsque l'on obtient la figure suivante, et on mesure 8 mm.



- a) **Définir** la valeur de la longueur d'onde  $\lambda$ .
- b) **Déterminer** la longueur d'onde  $\lambda$  à partir de l'expérience précédente. Que peut-on faire pour augmenter la

précision de la mesure ?

- c) **Calculer** la célérité  $v$  des ondes ultra-sonores dans l'air. **Expliquer** un écart éventuel avec la valeur attendue.
4. En utilisation normale de l'appareil, la longueur d'onde des ultrasons est différente de la valeur obtenue à la question 3.b) et vaut 4 cm. **Expliquer** cette différence.

## Partie 2 : Étude du nettoyage

Le bain à ultrasons est composé d'une cuve contenant de l'eau dans lequel sont plongées les pièces à nettoyer. Sur les parois, un transducteur à ultrasons génère des phases successives de compression et dépression dans le liquide qui se propagent de proche en proche dans le liquide. Des microbulles apparaissent, on appelle ce phénomène la « cavitation acoustique ». L'implosion\* de ces bulles, pendant la phase de compression, crée des turbulences qui détachent les impuretés de la pièce à nettoyer.

\* Implosion : écrasement brutal d'un corps creux sous l'effet d'une pression extérieure supérieure à la pression intérieure.

5. Les ondes ultra-sonores sont-elles des ondes mécaniques ?
6. Choisir parmi les grandeurs suivantes celle qui permet de différencier les ondes ultra-sonores et les ondes sonores : *niveau d'intensité sonore - timbre - fréquence - vitesse de propagation dans le même milieu à la même température.*

### Données :

- célérité des ultrasons dans l'air :  $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$  à  $25^\circ\text{C}$
- célérité des ultrasons dans l'eau :  $v' = 1500 \text{ m.s}^{-1}$