



**Résumé du cours**

**Onde mécanique :**

phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel, avec transport d'énergie mais sans transport de matière.

- Une onde mécanique se propage dans toutes les directions qui lui sont offertes.

**Deux types d'ondes mécaniques :**

- **les ondes longitudinales** (déplacement des points parallèle à la direction de propagation)

- **les ondes transversales** (déplacement des points perpendiculaire à la direction de propagation)

Les ondes peuvent se croiser sans se perturber. Au point de croisement leurs effets s'additionnent.

**La célérité (vitesse) d'une onde**

est définie par :  $V = \frac{d}{\Delta t}$  avec V célérité ( $m.s^{-1}$ ), d distance (m) et t temps (s)

- La célérité d'une onde ne dépend que du milieu de propagation, ni de la forme ni de l'amplitude.

- La célérité d'une onde est conservée pour un milieu donné.

**le retard**

La perturbation en un point M du milieu, à l'instant t, est celle qui existait auparavant en un point M'

au temps  $t' = t - \tau$ ,  $\tau$  étant le retard :  $\tau = t' - t = \frac{MM'}{V}$

- L'élongation  $y_M$  du point M d'abscisse x à la date t est égale à

l'élongation  $y_S$  du point S à la date  $t - \tau$ .

C'est à dire que le point M a le même mouvement que la

source avec un retard  $\tau$ . On peut alors écrire :  $y_M(t) = y_S(t - \tau)$



Pour voir le cours complet, visitez notre plateforme **Ajitfham Academy**, Lien :

<https://ajitfhamacademy.teachable.com/>



**Exercice 1 : Propagation d'une onde le long d'une corde**

**Exercice 2 : Propagation d'une onde le long d'un ressort**

**Exercice 3 : Quels paramètres influencent la célérité d'une onde le long d'une corde ?**

**Exercice 4 : Mesure de la célérité du son dans l'air**

**Exercice 5 : Le sonar**

**Exercice 6 : La célérité des ultrasons dans l'air et dans l'eau**

**Exercice 7 : La célérité des ondes le long d'une corde**

**Exercice 8 : Les ondes sismiques**

**Exercice 9 : Un modèle pour calculer la célérité du son dans l'air**

**Exercice 10 : Détermination de l'épaisseur d'une nappe souterrain**

**Exercice 11 : L'échogramme du cerveau**

**Exercice 12 : La chauve-souris et les ondes ultrasonores**

**Exercice 13 : La célérité d'une onde ultra-sonore dans le pétrole**

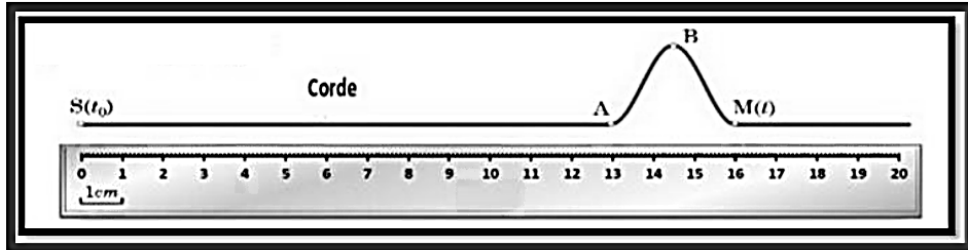
**Exercice 14 : Détermination de la célérité d'une onde ultrasonore dans un liquide**

**Exercice 15 : Mesure de la vitesse d'écoulement de l'eau dans une conduite**



**Exercice 1 : Propagation d'une onde le long d'une corde**

La figure ci-dessous représente la propagation d'une onde le long d'une corde. Elle représente l'aspect de la corde à l'instant  $t = 40 \text{ ms}$ . Sachant que la perturbation commence à partir d'une source  $S$  à l'instant  $t_0 = 0 \text{ s}$

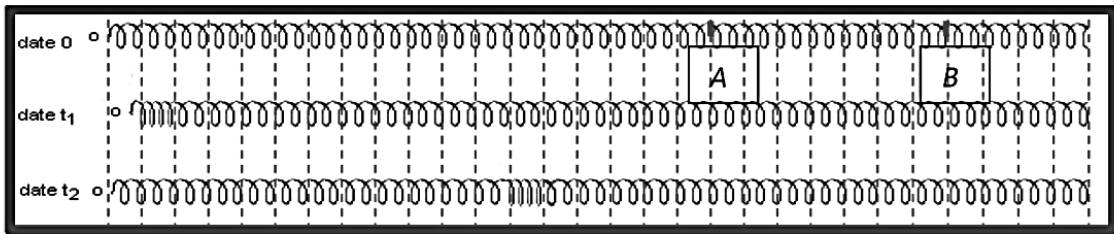


- Définir une onde mécanique progressive
- Quelle est la nature de l'onde ? justifier votre réponse
- Déterminer, à l'instant  $t$ , les points qui se dirigeront vers le bas ainsi que ceux se dirigeront vers le haut
- Calculer  $v$  la célérité de l'onde le long de la corde
- Pendant quelle durée  $\Delta t$  un point de la corde est-il affecté par le passage de la perturbation ?
- A quel instant s'arrête le point  $M$  ?
- A quel instant l'onde arrive au point  $N$ , tel que  $NM = 20 \text{ cm}$
- Représenter graphiquement l'aspect de la corde à l'instant  $t' = 10 \text{ ms}$
- Déterminer parmi les propositions suivant la / Les relation(s) entre l'élongation du point  $M$  et celle de la source  $S$

1	2	3	4
$y_S(t) = y_M(t - 0,04)$	$y_S(t) = y_M(t + 0,04)$	$y_M(t) = y_S(t - 0,04)$	$y_M(t) = y_S(t + 0,04)$

**Exercice 2 : Propagation d'une onde le long d'un ressort**

- Une perturbation se propage de gauche à droite le long d'un ressort à spires non jointives. On observe l'état du ressort à 3 dates  $t_0 = 0 \text{ s}$ ,  $t_1 = 0,20 \text{ s}$  et  $t_2 = 2,4 \text{ s}$
- Échelle : 1,0 cm par division



- Déterminer la célérité  $v$  de cette perturbation en  $\text{m.s}^{-1}$ .
- Quelle est la durée  $\Delta t'$  de la déformation ? Détailler votre calcul.
- Cette déformation est-elle longitudinale ou transversale ? Justifier.
- Déterminer le retard  $\tau$  du point  $B$  par rapport au point  $A$ .

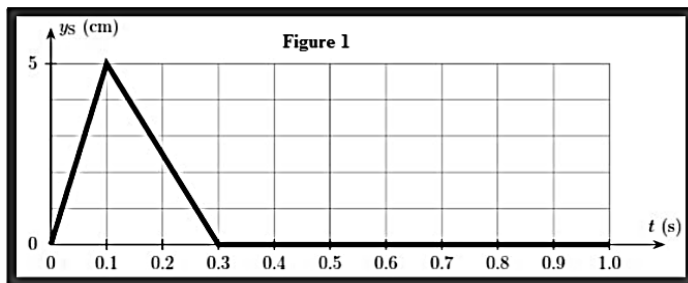


**Exercice 3 : Quels paramètres influencent la célérité d'une onde le long d'une corde ?**

Une très longue corde élastique inextensible est disposée horizontalement sur le sol . à la date  $t = 0$  s un opérateur crée une perturbation en imprimant une brève secousse verticale à l'extrémité S de la corde

La célérité de l'onde mécanique créée vaut  $v = 10 \text{ m.s}^{-1}$ .

La figure 1 représente la variation de l'élongation  $y_s$  du point source S .



**I. Représentation temporelle**

Un point P est repéré sur la corde à une distance  $SP = 4,0 \text{ m}$  de l'extrémité.

1. 1 Déterminer la durée de la perturbation  $\Delta t$
1. 2 Dédire la longueur  $l$  de la perturbation
1. 3 Quelle durée  $\tau$  sépare l'émission du signal en S et son arrivée en P ? quelle est la signification de la grandeur  $\tau$
1. 4 Sur papier millimétrée, Tracer l'allure des variations temporelles de l'altitude (l'élongation)  $y_p$  de P
1. 5 Déterminer parmi les propositions suivant la / Les relation(s) entre l'élongation du point P et celle de la source S

1	2	3	4
$y_s(t) = y_p(t - \tau)$	$y_s(t) = y_p(t + \tau)$	$Y_p(t) = y_s(t - \tau)$	$Y_p(t) = y_s(t + \tau)$

**II. Représentation spatiale**

Le front d'onde à la date  $t$  est le point de la corde qui commence à être affecté par la perturbation. La crête est le point de la corde où la perturbation est maximale et la queue est le point où la perturbation se termine

2. 1 Déterminer à la date  $t = 0,5 \text{ s}$  la position du front d'onde K , celle de la crête J et celle de la queue
2. 2 Représenter graphiquement l'aspect de la corde à l'instant  $t = 0,5 \text{ s}$
2. 3 Déterminer à l'instant  $t = 0,5 \text{ s}$  les points qui effectuent un mouvement vers le haut et les points qui effectuent un mouvement vers le bas.

**III. Nature de l'onde**

3. 1 Quelle est la nature de cette onde ? (mécanique ou électromagnétique) justifier votre réponse
3. 2 L'onde est-elle transversale ou longitudinale ? justifier
3. 3 quelle est la catégorie de cette onde ? (unidimensionnelle, bidimensionnelle, tridimensionnelle) , justifier votre réponse

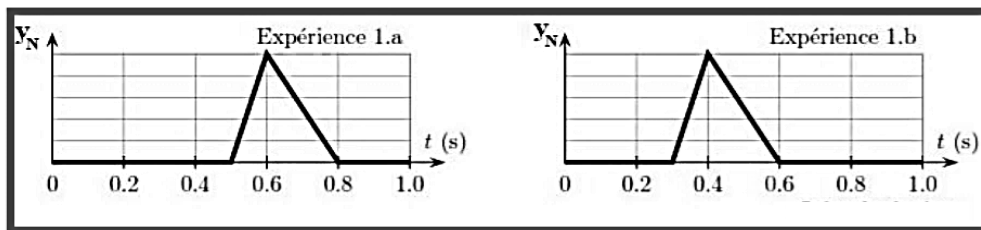
**IV. Influence de quelques grandeur paramètres sur la célérité de l'onde**

les courbes ci-apès donnent l'élongation d'un point N situé à la distance fixe  $d = SN$  du point S . les conditions expérimentales sont précisées pour chaque expérience .

toutes les réponses doivent être justifiées en utilisant les représentations graphiques

**4. 1 influence de la tension de la corde**

lors de l'expérience 1.a , la tension est plus faible que lors de l'expérience 1.b

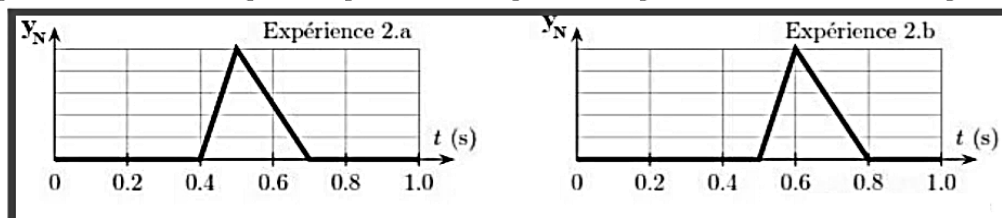


la tension de la corde modifie-t-elle la célérité , et si oui , dans quel sens ?

**4. 2 influence la masse linéique**

la masse linéique  $\mu$  est la masse par unité de longueur ; pour une corde de masse  $m$  et de longueur  $L$  on a donc  $\mu = \frac{m}{L}$  .

la masse linéique de la corde utilisée pour l'expérience 2.a es plus faible que celle de la corde utilisée pour l'expérience 2.b



la masse modifie-t-elle la célérité , et si oui , dans quel sens ?



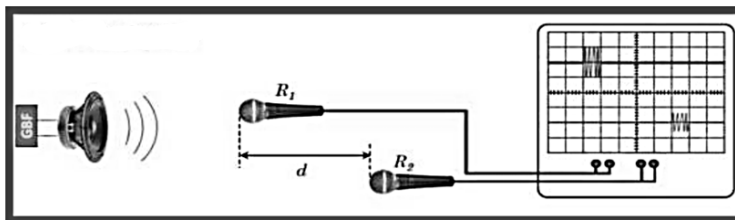
**Exercice 4 : Mesure de la célérité du son dans l'air**

Pour mesurer la vitesse de propagation des ondes sonores dans l'air, on réalise le montage expérimental représentant ci-dessous. La distance entre les deux microphones  $R_1$  et  $R_2$  est  $d = 1,70 \text{ m}$ .

La courbe ci-dessous représente la variation de la tension aux bornes de chaque microphone

- **Données :** Sensibilité horizontale :  $S_h = 1 \text{ ms/div}$  ;  
célérité du son dans l'eau  $v_{\text{eau}} = 1500 \text{ m.s}^{-1}$   
Température de l'air :  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

1. L'onde sonore est-elle transversale ou longitudinale ?
2. Déterminer  $\tau$  la valeur du retard temporel entre les microphones  $R_1$  et  $R_2$
3. Déduire  $v_{\text{air}}$  la célérité du son dans l'air
4. Déterminer la valeur du retard temporel  $\tau'$  quand on déplace le microphone  $R_2$  vers la droite à partir de sa position initiale de  $L = 51 \text{ cm}$
5. Comparer  $v_{\text{air}}$  et  $v_{\text{eau}}$ , que peut-on déduire ?

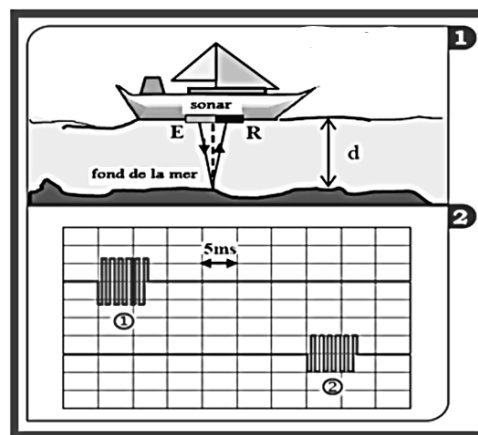


**Exercice 5 : Le sonar**

Le sonar est un capteur formé d'une sonde qui contient un émetteur E et un récepteur R des ultrasons. Il est utilisé dans la navigation maritime pour connaître la profondeur d'eau et permet aux navires de s'approcher de la cote en toute confiance.

Pour déterminer la profondeur l'émetteur E émet des ultrasons sinusoïdaux vers le fond de la mer, une partie de ces ultrasons réfléchissent et sont captés par R. Le graphe ci-dessous représente le signal émis par E et le signal reçu par R.

1. Quelle est la différence entre les ondes sonores et les ondes ultrasonores
2. Quelle est la nature de l'onde ultrasonore ? (mécanique ou électromagnétique), justifier votre réponse
3. L'onde ultrasonore est-elle longitudinale ou transversale ? justifier
4. On utilise des ultrasons de fréquence  $N=200\text{kHz}$  qui se propagent dans l'eau de mer avec une célérité  $V_{\text{eau}}=1500 \text{ m.s}^{-1}$ .
  - 4.1 À partir du graphe déterminer la durée  $\Delta t$ .
  - 4.2 On suppose que les ultrasons suivent une trajectoire verticale, exprimer la profondeur  $d$  en fonction de  $\Delta t$  et  $V_{\text{eau}}$ . Calculer la valeur de  $d$ .



**Exercice 6 : La célérité des ultrasons dans l'air et dans l'eau**

Pour déterminer la célérité des ondes sonores dans l'eau on pose dans un bassin d'eau un émetteur E et un récepteur R sur la même droite, la distance entre E et R est  $l=1,50\text{m}$ .

On relie l'émetteur E par la voie  $Y_A$  et le récepteur R par la voie  $Y_B$  d'un oscilloscope.

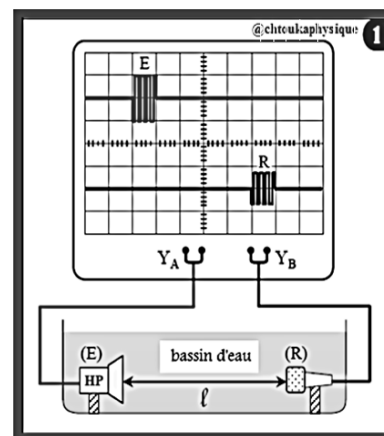
On donne la sensibilité horizontale :  $0,2\text{ms/div}$ .

1. Définir une onde mécanique progressive
2. L'onde sonore est-elle longitudinale ou transversale ?
3. L'onde sonore arrive au microphone R après un retard  $\tau$  par rapport à l'émetteur E. Déterminer  $\tau$ .
4. Calculer  $V_{\text{eau}}$  la célérité de propagation des ondes sonores dans l'eau.
5. On vide le bassin et les ondes sonores se propagent dans l'air. Dans ce cas la célérité de propagation dépend du coefficient de compression  $\chi$  et de la masse volumique  $\rho$ .  
Pour l'air  $\rho=10^{-3}\text{kg.m}^{-3}$  et  $\chi=8,65.10^{-3}\text{m.kg}^{-1}.s^2$

On exprime la célérité par une des relations suivantes.

a)  $V_{\text{air}} = \sqrt{\rho \cdot \chi}$  , b)  $V_{\text{air}} = \frac{1}{\rho \cdot \chi}$  , c)  $V_{\text{air}} = \frac{1}{\sqrt{\rho \cdot \chi}}$

- 5.1 En utilisant l'analyse dimensionnelle trouver la relation correcte et calculer  $V_{\text{air}}$ .
- 5.2 Comparer  $V_{\text{eau}}$  et  $V_{\text{air}}$  déduire.



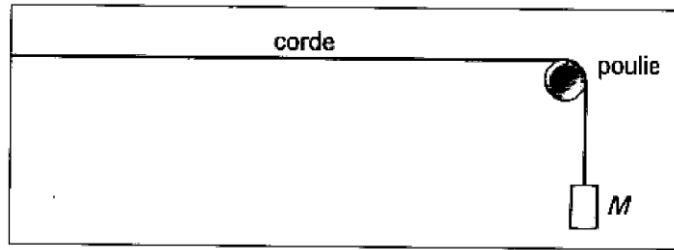


**Exercice 7 : La célérité des ondes le long d'une corde**

La célérité d'une onde le long d'une corde élastique dépend de sa tension  $F$  (en newtons N) et de sa masse linéique  $\mu$  (masse par unité de longueur en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ ).

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

- Calculer la célérité  $v$  pour une corde de longueur  $\ell = 10$  m dont la masse est de 1,0 kg, tendue avec une force de 2,5 N.
- Comment varie cette célérité si :
  - avec la même corde, on multiplie la tension par 4 ?
  - avec la même tension, on forme une tresse avec quatre cordes identiques ?
- La corde de la question a est maintenant tendue par le poids d'une masse  $M$  comme le montre le schéma ci-dessous.



Calculer la célérité des ondes le long de la corde avec les valeurs :  $M = 160$  g et  $g = 10$   $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

**Exercice 8 : Les ondes sismiques**

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.

On distingue :

Les ondes P, les plus rapides, se propageant dans les solides et les liquides

Les ondes S, moins rapides, ne se propageant 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 (point de la surface de la terre à la verticale du lieu de naissance de la perturbation)

Un séisme s'est produit à San Francisco (nord de la Californie) en 1989. La figure ci-dessous représente le sismogramme

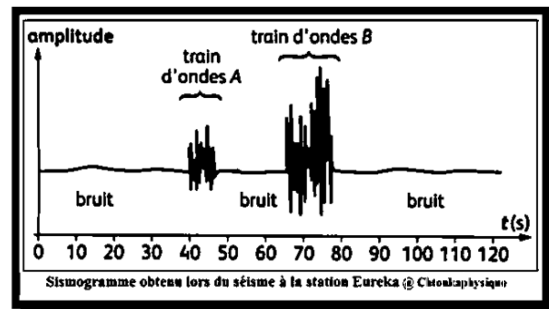
obtenu lors de ce séisme à la station Eureka située au nord de la Californie.

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

L'étude de la propagation de différents types d'ondes sismiques permet de construire des modèles afin de prévoir le déclenchement d'un séisme.

Étudions les ondes P et S

- à quel type d'onde (S ou P) correspond chaque train ? justifier votre réponse à l'aide de l'énoncé
- sachant que le début du séisme a été détectée à Eureka à 8 h 15 min 20 s TU (temps universel) déterminer l'heure TU (h min s) à laquelle le séisme s'est déclenché à San Francisco (épicentre du séisme)
- sachant que les ondes P se propagent à une célérité moyenne de  $10 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , calculer la distance  $d$  séparant l'épicentre du séisme de la station Eureka
- calculer célérité  $v$  moyenne des ondes S





**Exercice 9 : Un modèle pour calculer la célérité du son dans l'air**

Un modèle de calcul de la vitesse du son dans un gaz diatomique ou dans l'air donne la relation suivante :  $v = \sqrt{\frac{1,4P}{\rho}}$ , avec / P la pression du gaz au repos et  $\rho$  la masse volumique du gaz . Les valeurs sont en bon accord avec les valeurs déterminées expérimentalement.

On admet que ces gaz vérifient la loi des gaz parfaits, c'est-à-dire :  $P.V = \frac{m}{M}.R.T$  où V est le volume occupé par une masse m de gaz de masse molaire M sous la pression P, à la température absolue T

1. Montrer que la vitesse du son ne dépend pas de la pression du gaz, mais dépend de la température et de la masse molaire
2. La vitesse du son dans le dihydrogène est-elle plus grande que dans le dioxygène ? justifier
3. À  $0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$ , la vitesse du son dans est de  $331,45 \text{ m.s}^{-1}$  . en admettant que la formule est valable pour l'air, calculer la masse molaire de l'air.
4. Calculer les vitesses du son dans le dihydrogène et dioxygène .

• **Données :**  $R = 8,314 \text{ S.I}$  ,  $M(\text{H}_2) = 2,0 \text{ g.mol}^{-1}$  .  $M(\text{O}_2) = 32,0 \text{ g.mol}^{-1}$

**Exercice 10 : Détermination de l'épaisseur d'une nappe souterrain**

L'échographie utilisant les ondes ultrasonores est une méthode de détermination des épaisseurs des nappes souterraines.

Cet exercice vise à déterminer, la célérité de propagation des ondes ultrasonores dans l'air , ainsi que l'épaisseur d'une nappe souterraine de pétrole .

❖ **Partie I : détermination de la célérité des ondes ultrasonores dans l'air :**

On place sur un blanc rectiligne un émetteur E d'ondes ultrasonores, et deux récepteurs  $R_1$  et  $R_2$  distants de  $d = 0,5 \text{ m}$  ( figure 1 ) .

On visualise sur l'écran d'un oscilloscope, aux entrées  $Y_1$  et  $Y_2$  , les signaux reçus par les deux récepteurs ; on obtient l'oscillogramme représenté sur la figure 2 .

A représente le début du signal reçu par  $R_1$  et B le début de celui reçu par  $R_2$  .

1. 1 Déterminer à partir de l'oscillogramme de la figure 2, le retard temporel  $\tau$  entre les deux signaux reçus par les deux récepteurs  $R_1$  et  $R_2$  .
1. 2 Calculer la célérité des ultrasonores dans l'air
1. 3 Écrire l'expression de l'élongation  $y_B(t)$  du point B à l'instant t , en fonction de l'élongation du point A

❖ **Partie II : détermination de l'épaisseur d'une nappe souterraine de pétrole**

Pour déterminer l'épaisseur L d'une nappe souterraine de pétrole , un ingénieur utilise la sonde d'un appareil d'échographie.

La sonde envoie , perpendiculairement à la surface libre de la couche de pétrole , à l'instant  $t_0 = 0$  , un signal ultrasonore de très courte durée .

Une partie du signal se réfléchit sur cette surface, tandis que l'autre partie continue la propagation dans la couche de pétrole pour se réfléchir une deuxième fois sur fond et revenir vers la sonde , pour être transformée à nouveau en un signal électrique de très courte durée aussi ( figure 3 ) .

À l'instant  $t_1$  , la sonde révèle la raie  $P_1$  correspondante à l'onde réfléchi sur la surface libre de la couche libre, et à l'instant  $t_2$  , elle révèle la raie  $P_2$  correspondante à l'onde réfléchi sur le fond de la couche du pétrole ( figure 4 ) .

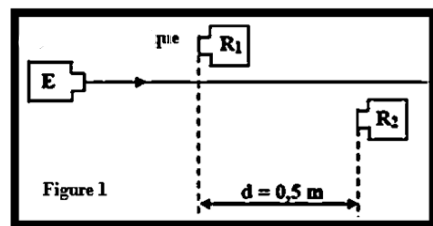


Figure 1

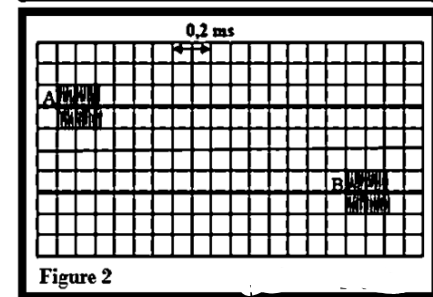


Figure 2

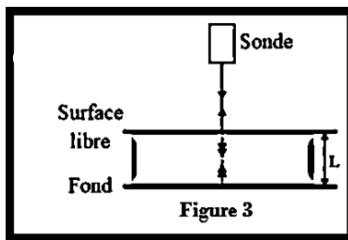


Figure 3

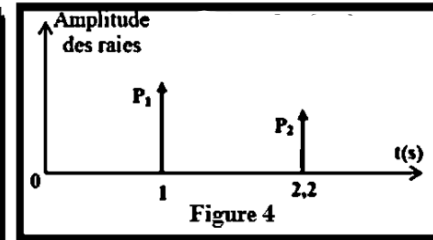


Figure 4

2. 1 Déterminer l'épaisseur L de la couche de pétrole , sachant que la célérité de propagation des ondes ultrasonores dans le pétrole est :  $v_p = 1,3 \text{ Km .s}^{-1}$  .

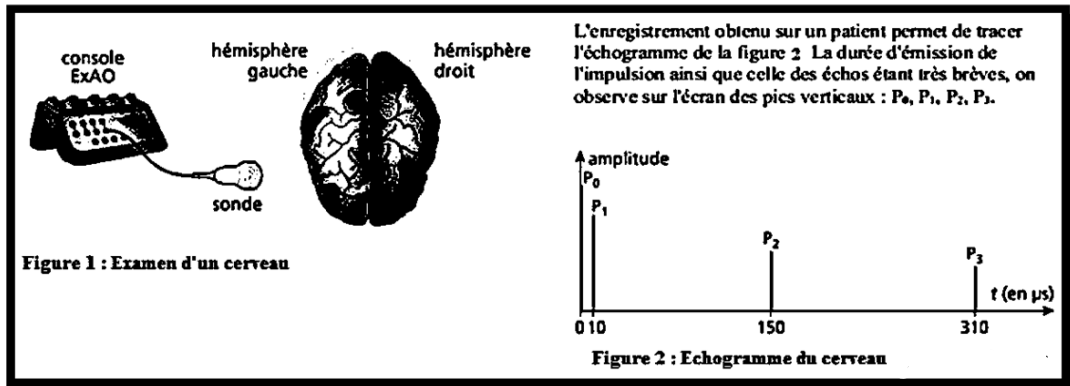


### Exercice 11 : L'échogramme du cerveau

L'échographie est une technique d'analyse médicale fréquemment utilisée pour suivre une grossesse, mais son usage est plus général. En permettant de mesurer la taille d'un organe, cette technique permet de diagnostiquer une tumeur qui en changerait les dimensions. Le principe de cette technique est représenté sur la figure ci-dessous qui montre la propagation des ondes dans le cerveau.

Une sonde, jouant le rôle d'émetteur et de récepteur, envoie une impulsion ultrasonore de faible durée et de faible puissance en direction du crâne d'un patient. L'onde sonore pénètre dans le crâne, s'y propage et s'y réfléchit chaque fois qu'elle change de milieu de propagation. Les signaux réfléchis génèrent des échos qui, au retour sur la sonde, y engendrent une tension électrique très brève. Un système d'acquisition relié à la sonde permet la détection à la fois de l'impulsion émettrice  $P_0$  et des divers échos  $P_1, P_2, P_3$  (Fig. 1).

$P_0$  correspond à l'émission à l'instant de date  $t = 0$  s de l'impulsion. La célérité des ultrasons dans les hémisphères est  $v = 1,5 \cdot 10^3$  m/s.



1. Comment s'appelle le phénomène qui permet à l'onde de revenir vers la sonde ?
2. Comment s'appelle le phénomène qui permet à l'onde de passer d'un milieu à un autre ?
3. Attribuer une signification aux pics  $P_1, P_2$  et  $P_3$ .
4. En déduire la largeur  $L$  de chaque hémisphère.
5. Comparer ces deux longueurs, que peut-on déduire ? (on négligera l'épaisseur du corps calleux qui sépare les deux hémisphères)

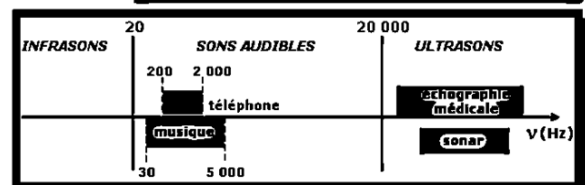
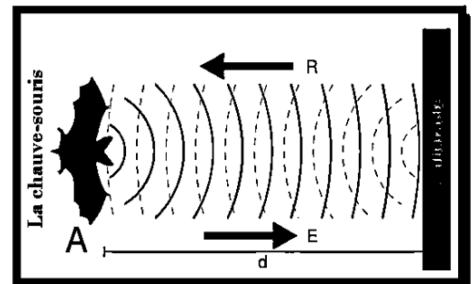
### Exercice 12 : La chauve-souris et les ondes ultrasonores

la chauve-souris possède un véritable sonar naturel : elle émet des impulsions sonores, de fréquence pouvant atteindre 100 khz, qu'elle réceptionne après réflexion sur les obstacles.

Une chauve-souris ( $C$ ) vole, en ligne droite, vers un obstacle (un mur) à la vitesse moyenne  $v = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Elle émet un bref signal ultrasonore quand elle se trouve à environ  $d = 2 \text{ m}$  de cet obstacle.

1. Quel type d'ondes sonores une chauve-souris émet-elle ?
2. au bout de combien de temps  $\Delta t_e$  atteindrait-elle le mur ?
3. À quelle distance  $x$  de l'obstacle se trouve-t-elle lors de sa réception du signal retour ?
4. Au bout de quelle durée  $\Delta t_r$  reçoit-elle un écho ?
5. Peut-elle éviter le mur, sachant que par réflexe naturel son temps de réaction est de 100 ms ?



- **Données :** La célérité des ondes ultrasonores dans l'air est égale à la célérité des ondes sonores audibles :  $c = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- On peut définir plusieurs domaines d'ondes sonores à partir des valeurs de leur fréquence





**Exercice 13 : La célérité d'une onde ultra-sonore dans le pétrole**

Les ondes mécaniques se propagent seulement dans un milieu, et leur célérité croit avec la densité du milieu où elles se propagent.

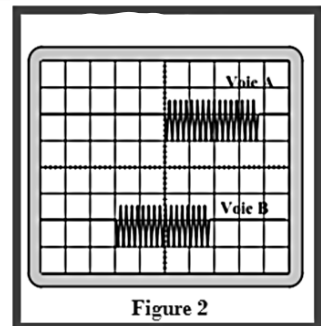
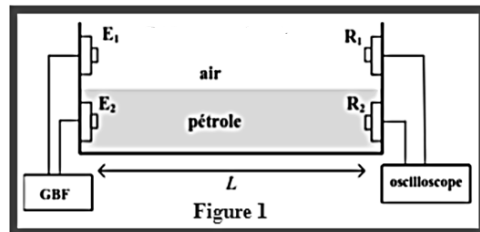
Pour déterminer la valeur approximative de la célérité  $V_p$  d'une onde ultrasonore dans le pétrole liquide, on réalise l'expérience suivante :

Dans une cuve contenant du pétrole, on fixe à l'une de ses extrémités deux émetteurs  $E_1$  et  $E_2$  qui sont reliés à un générateur GBF. à l'instant  $t_0 = 0$ , les deux émetteurs émettent chacun une onde ultrasonore, une se propage dans l'air et l'autre dans le pétrole. les récepteurs sont à une distance  $L$  des émetteurs (fig 1) On visualise sur l'écran d'un oscilloscope les signaux reçus par  $R_1$  et  $R_2$  ( fig 2 )

• **Données :**

- Les deux ondes parcourt la même distance  $L = 1,84$  m
- La célérité des ultrasons dans l'air :  $V_{air} = 340$  m.s<sup>-1</sup>
- La sensibilité horizontale de l'oscilloscope :  $S_h = 2$  ms / div

1. Les ondes ultrasonores, sont-elles mécaniques ou électromagnétiques ? justifier
2. En exploitant la figure 2, déterminer la valeur du retard temporel entre les ondes recus
3. Montrer que l'expression de  $\tau$  s'écrit sous la forme  $\tau = L \left( \frac{1}{V_{air}} - \frac{1}{V_p} \right)$
4. Trouver la valeur approché de la célérité  $V_p$



**Exercice 14 : Détermination de la célérité d'une onde ultrasonore dans un liquide**

Les ondes mécaniques se propagent seulement dans un milieu, et leur célérité croit avec la densité du milieu où elles se propagent.

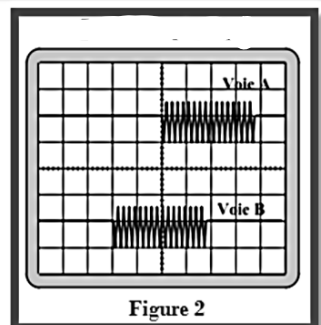
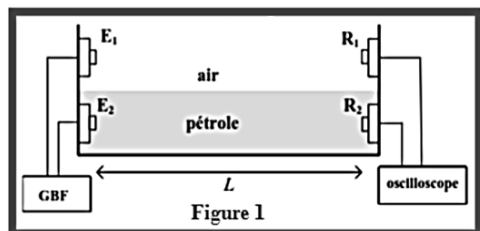
Pour déterminer la valeur approximative de la célérité  $V_p$  d'une onde ultrasonore dans le pétrole liquide, on réalise l'expérience suivante :

Dans une cuve contenant du pétrole, on fixe à l'une de ses extrémités deux émetteurs  $E_1$  et  $E_2$  qui sont reliés à un générateur GBF. à l'instant  $t_0 = 0$ , les deux émetteurs émettent chacun une onde ultrasonore, une se propage dans l'air et l'autre dans le pétrole. les récepteurs sont à une distance  $L$  des émetteurs (fig 1) On visualise sur l'écran d'un oscilloscope les signaux reçus par  $R_1$  et  $R_2$  ( fig 2 )

• **Données :**

- Les deux ondes parcourt la même distance  $L = 1,84$  m
- La célérité des ultrasons dans l'air :  $V_{air} = 340$  m.s<sup>-1</sup>
- La sensibilité horizontale de l'oscilloscope :  $S_h = 2$  ms / div

1. Les ondes ultrasonores, sont-elles mécaniques ou électromagnétiques ? justifier
2. En exploitant la figure 2, déterminer la valeur du retard temporel entre les ondes recus
3. Montrer que l'expression de  $\tau$  s'écrit sous la forme  $\tau = L \left( \frac{1}{V_{air}} - \frac{1}{V_p} \right)$
4. Trouver la valeur approché de la célérité  $V_p$





**Exercice 15 : Mesure de la vitesse d'écoulement de l'eau dans une conduite**

Une onde ultrasonore se propage à la vitesse  $v$  dans une eau qui coule à la vitesse  $v_e$  dans une conduite tel que :

$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}_e$ , avec  $\vec{v}_0$  vecteur vitesse de propagation de cette onde dans une eau calme .

Pour déterminer la vitesse  $v_e$  d'écoulement de l'eau dans une conduite, on y place un émetteur E et un récepteur R d'ondes ultrasonores.

L'émetteur E et le récepteur R sont situés sur la même droite horizontale et parallèle à la direction du mouvement de l'eau et sont séparés d'une distance  $d = 1,0$  m .

L'émetteur E émet une onde ultrasonore de faible durée qui est reçue par le récepteur R . Un dispositif adéquat permet d'enregistrer le signal  $u(t)$  reçu par le récepteur R .

On enregistre le signal  $u(t)$  dans les deux cas suivants :

- 1<sup>er</sup> cas : l'émetteur E est à la position A et le récepteur R est à la position B ( fig 1 )
- 2<sup>ème</sup> cas : l'émetteur E est à la position B et le récepteur R est à la position A ( fig 2 )

On considère, pour chaque cas , l'instant de l'émission de l'onde ultrasonore par l'émetteur E comme origines des dates .

1. Indiquer l'enregistrement correspondant au 2<sup>ème</sup> cas . justifier la réponse
2.  $\tau$  Représente la différence des durées de propagation de l'onde ultrasonore de l'émetteur E au récepteur R dans les deux cas .

2. 1 Déterminer l'expression de  $\tau$  en fonction  $v_e$  ,  $v_0$  et  $d$
2. 2 En négligeant la vitesse  $v_e$  devant  $v_0$  , déterminer la vitesse  $v_e$  d'écoulement de l'eau dans la conduite sachant que  $\tau = 2,0$  us

