2 BAC Biof

*PC
*SM
*SVT
*STE
*STM

Les ondes mécaniques | Progressives & périodiques

Avec
Prof. Noureddine

#dima_nice
#bac_en_poche

Résumé de cours

Astuces

Exercices corrigés

Exercices sans correction

Noureddine Physique   06 75 29 72 32

Noureddine Physique

Extrait du Cadre Référentiel

1- Ondes mécaniques progressives

- Définir une onde mécanique et sa célérité.
- Définir une onde transversale et une onde longitudinale.
- Définir une onde progressive.
- Connaître la relation entre l'élongation d'un point du milieu de propagation et l'élongation de la source : $y_M(t) = y_S(t-\tau)$.
- Exploiter la relation entre le retard temporel, la distance et la célérité.
- Exploiter des documents expérimentaux et des données pour déterminer :
  * une distance
  * un retard temporel.
  * une célérité.
- Proposer le schéma d'un montage expérimental permettant la mesure du retard temporel ou de déterminer la célérité lors de la propagation d'une onde.

2- Ondes mécaniques progressives périodiques

- Reconnaître une onde progressive périodique et sa période.
- Définir une onde progressive sinusoïdale, la période, la fréquence et la longueur d'onde.
- Connaître et exploiter la relation $\lambda = v.T$.
- Connaitre la condition d'obtention du phénomène de diffraction : dimension de l'ouverture inférieure ou égale à la longueur d'onde.
- Connaître les caractéristiques de l'onde diffractée.
- Définir un milieu dispersif.
- Exploiter des documents expérimentaux pour reconnaître le phénomène de diffraction et mettre en évidence les caractéristiques de l'onde diffractée.
- Proposer le schéma d'un montage expérimental permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction dans le cas des ondes mécaniques sonores et ultrasonores.

* Les ondes mécaniques progressives :

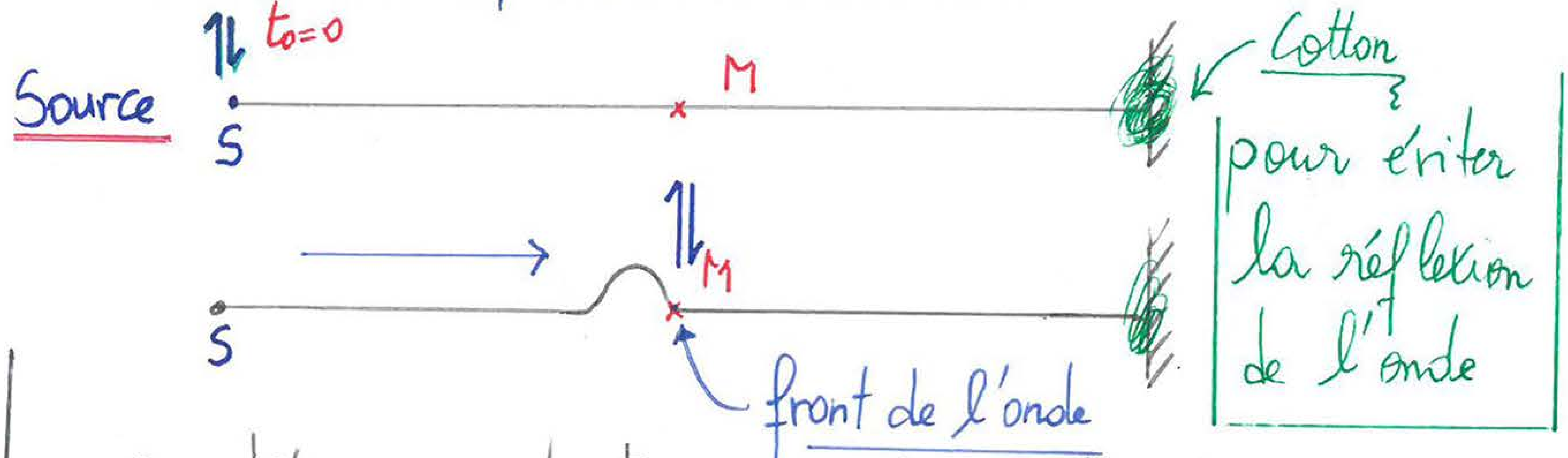
* Définition :

Onde mécanique : c'est le phénomène de propagat° d'une perturbation dans un milieu matériel élastique, avec transport d'énergie, et sans transfert de matière.

⚠ **Progressive** : C'est que la propagation se fait de point à point d'une manière continue.

* types d'ondes

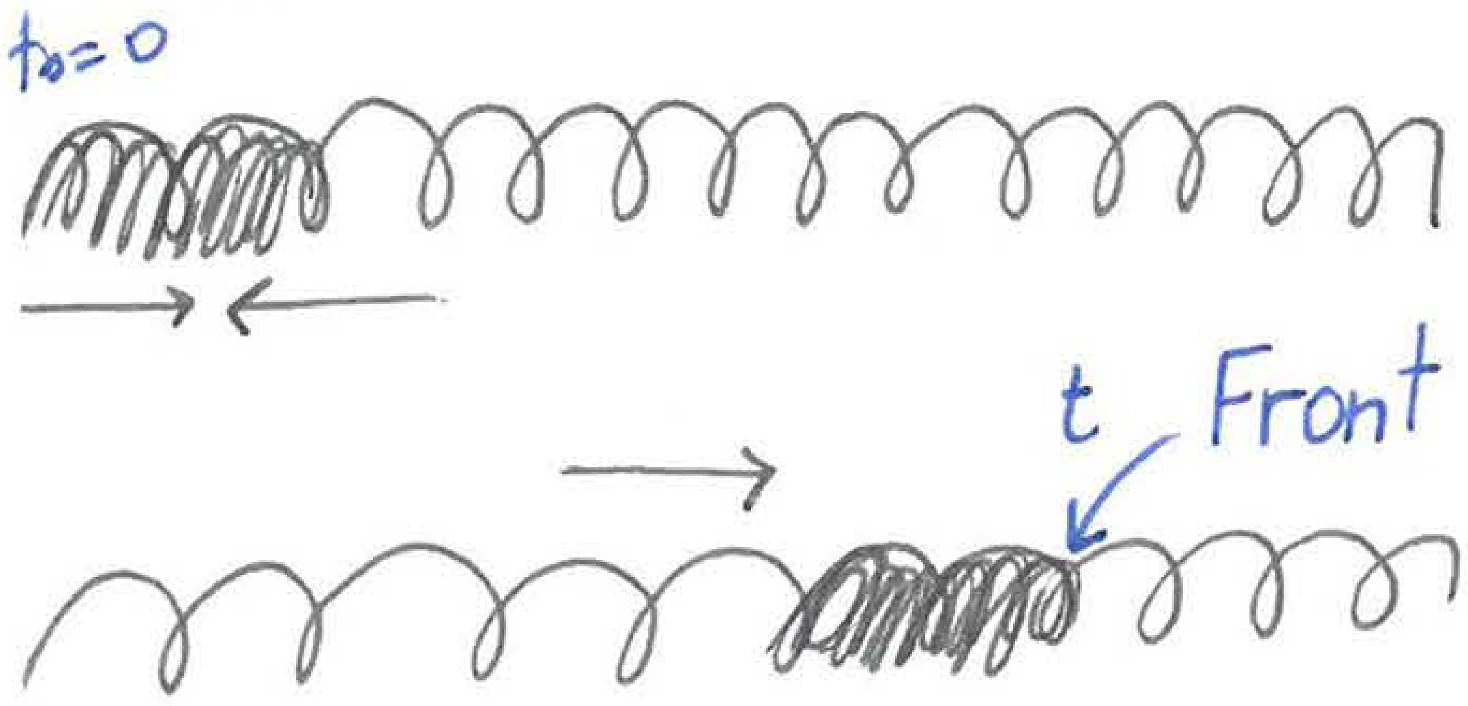
• Onde mécanique transversale :



↳ On dit une onde transversale, si la direction de perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation. (Exemple : la corde, la surface d'eau)

. Onde mécanique longitudinale

Ressort :



On dit une onde longitudinale, si la direction de perturbation est parallèle à la direction de propagation.

(Exemples : le ressort, le son)

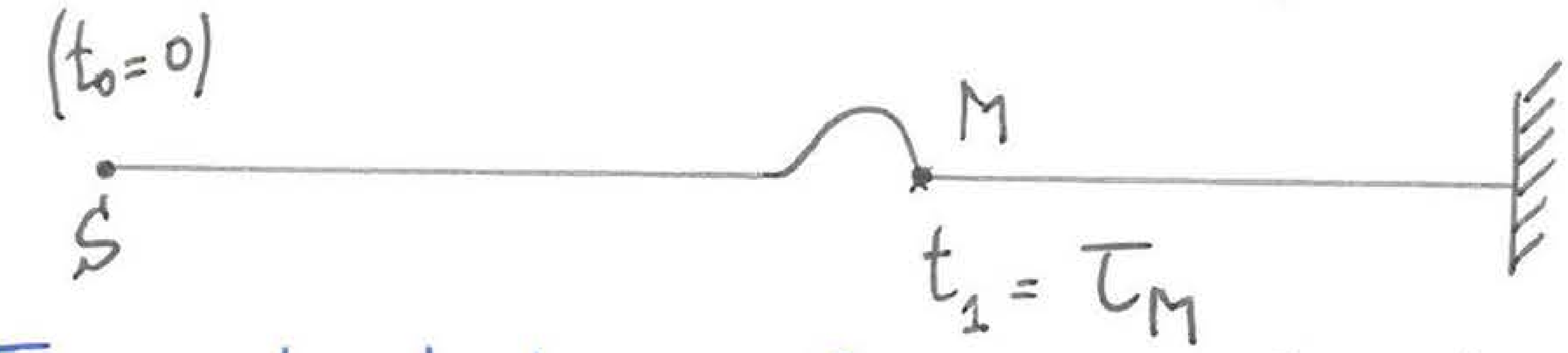
- onde sonore
- onde ultra-sonore

la vitesse de propagation (Celerité)

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

- v : $(m.s^{-1})$
- d : distance parcourue (m)
- Δt : durée de parcours (s)

Le retard temporel τ : (en s).



$$\tau = \frac{SM}{v}$$

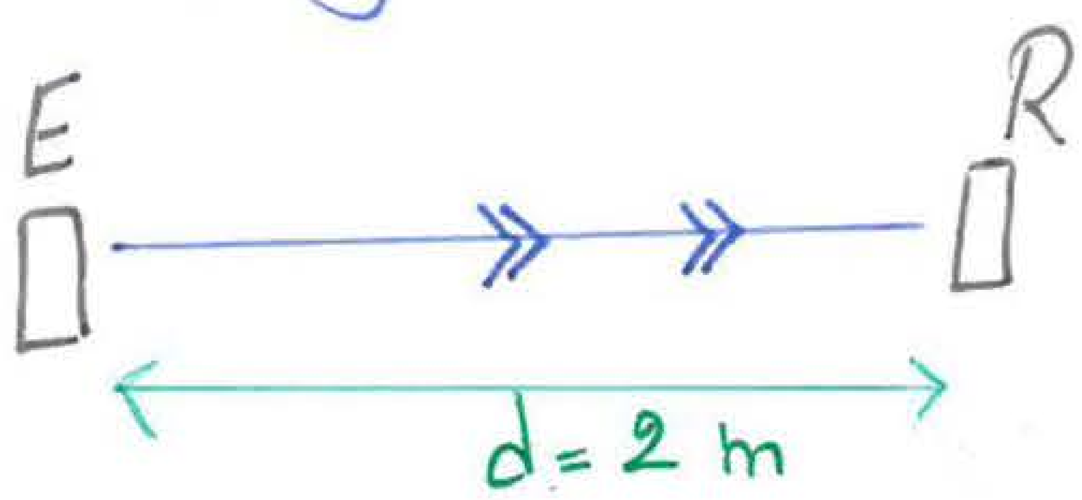
. τ_M : retard temporel : c'est la durée necessaire, pour que la perturbation arrive au pt M.

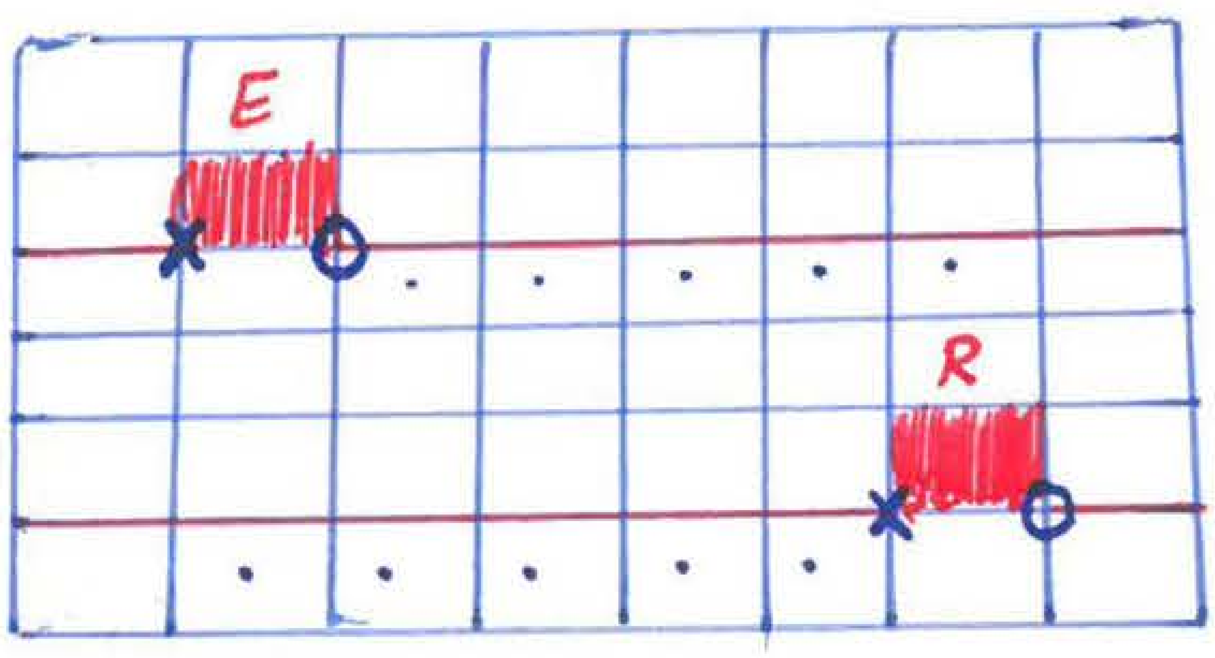
Son :

. **Onde sonore :** Onde mécanique, audible par l'homme, de fréquence f ; $20 Hz \leqslant f \leqslant 20 kHz$

. **Onde ultra-sonore :** Onde mécanique, non audible par l'homme, de fréquence f ; $f > 20 kHz$.

Cas ① : Propagation d'une onde ultra-sonore.





$S_H = 20 \, \underbrace{ms}_{10^{-3}}/div$

Q_ Determiner la vitesse de propagation ?

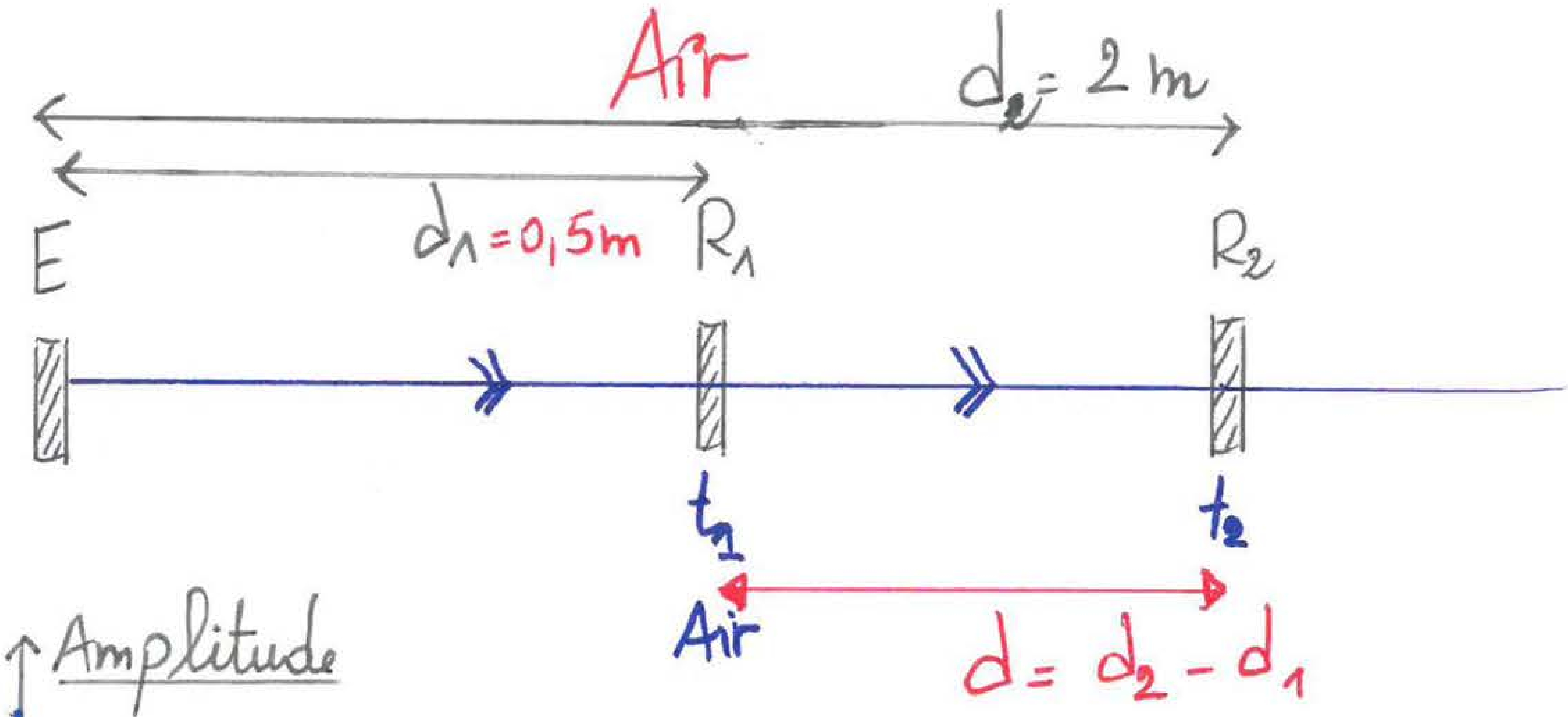
$$\boxed{v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{d}{\tau ?}}$$

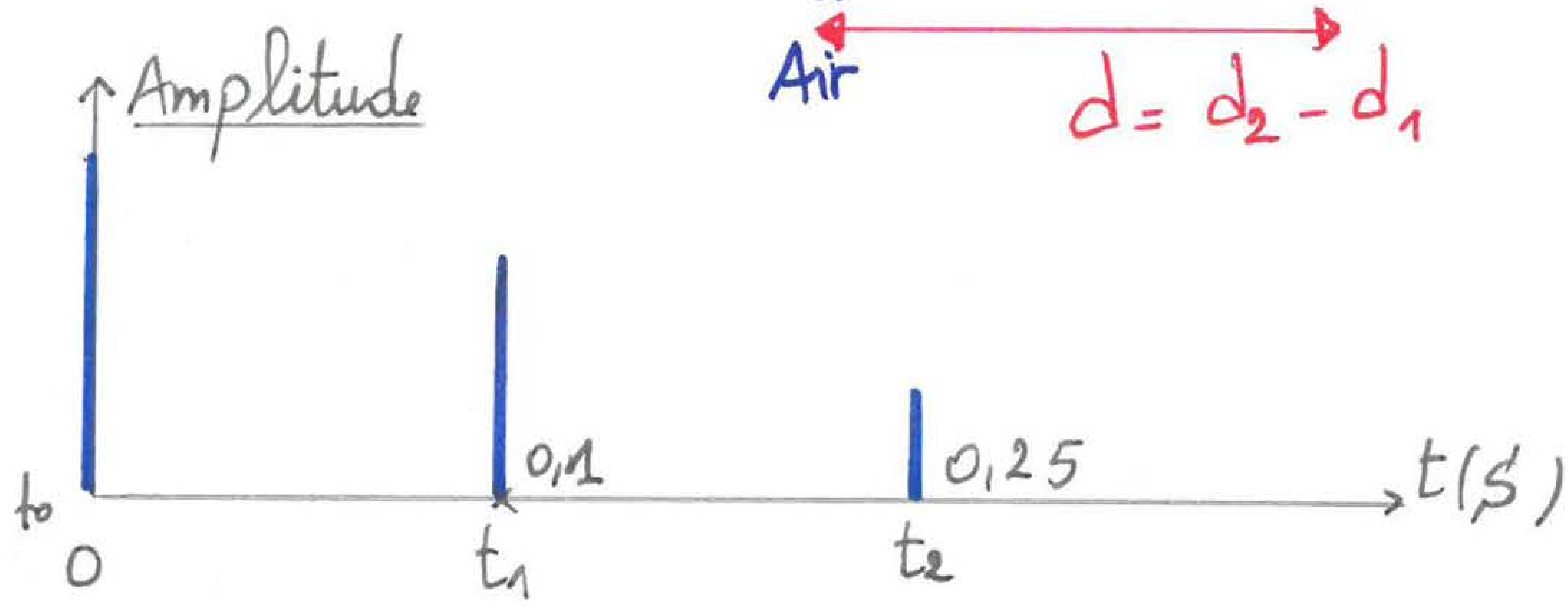
τ : retard temporel, entre émission et réception.

⚠ pour oscilloscope $\boxed{\tau = \Delta t = \text{nbre de div} \times S_H}$

$\tau = 5 \times 20 . 10^{-3} = 0,1 \, s$

Cas ②





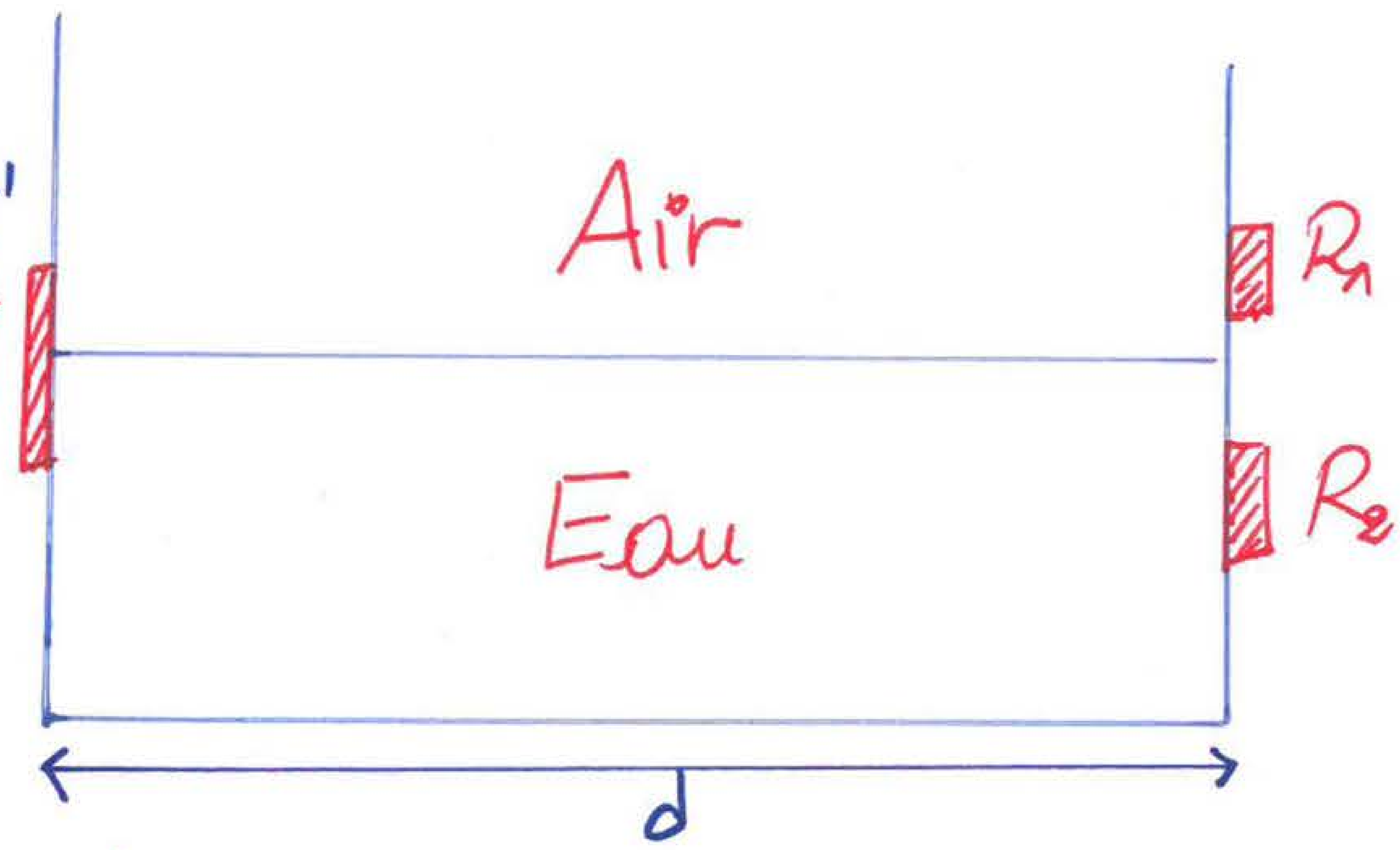
$$\tau = \Delta t = t_2 - t_1 = 0{,}25 - 0{,}1 = 0{,}15\ (s).$$

$$\boxed{v_{Air} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{d}{\tau} = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}}$$

Cas ③

v_{Air} $V = 340\,m\,s^{-1}$

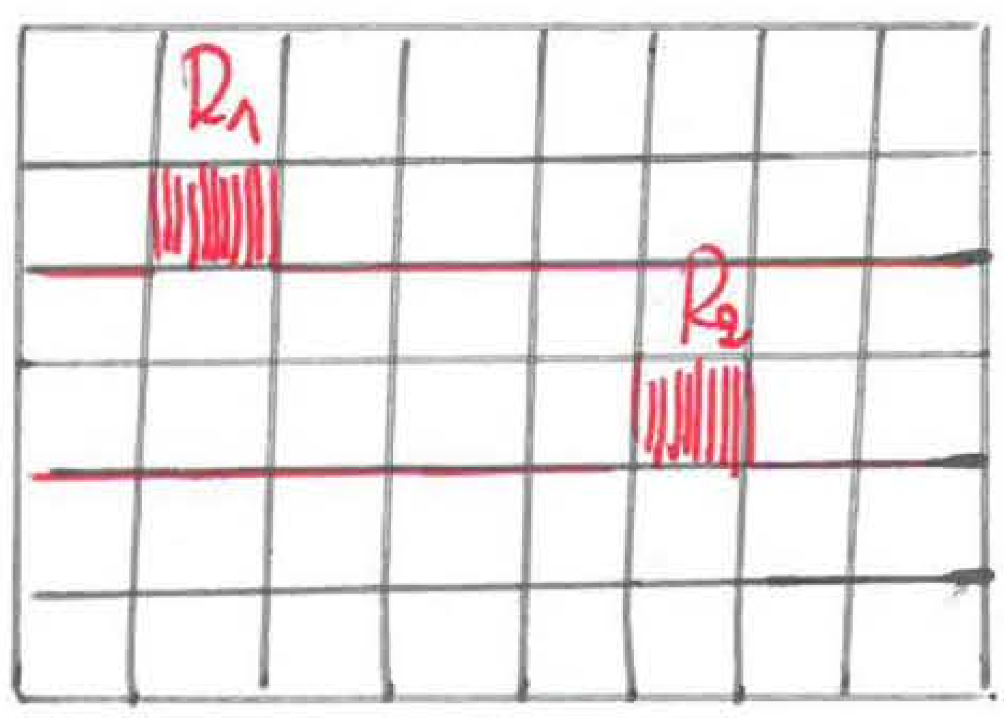
v_{Eau} $V = 1500\,m\,s^{-1}$



! Remarque

$$v_{(S)} > v_{(l)} > v_{(G)}$$

τ : retard temporel entre 2 réceptions



$S_H = 20\,\mu s/div$

$\mu \to 10^{-6}\,s$

$$\boxed{\tau = \text{nbre de div} \times S_H}$$

Q- Exprimer d, en fct de τ, v_{Air}, v_{eau} ?

$v_{Eau} > v_{air} \Rightarrow t_{Eau} < t_{air}$

$$\tau = t_{Air} - t_{Eau} > 0$$

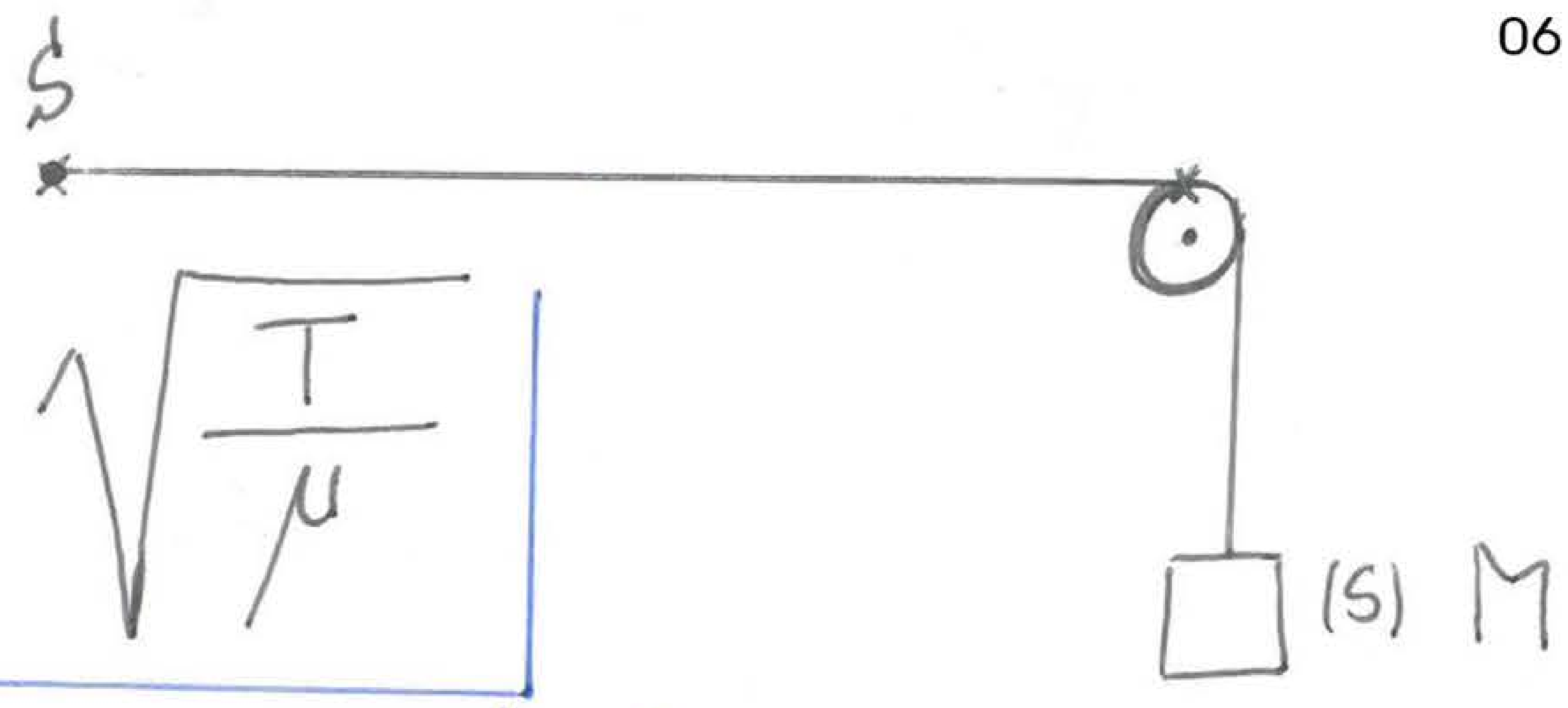
- $v_{Air} = \frac{d}{t_{Air}} \longrightarrow \boxed{t_{Air} = \frac{d}{v_{air}}}$
- $v_{Eau} = \frac{d}{t_{Eau}} \longrightarrow \boxed{t_{Eau} = \frac{d}{v_{Eau}}}$

$$\tau = \frac{d}{v_{air}} - \frac{d}{v_{Eau}} = d\left(\frac{1}{v_{air}} - \frac{1}{v_{Eau}}\right)$$

$$\boxed{d = \frac{\tau}{\frac{1}{v_{air}} - \frac{1}{v_{eau}}}}$$

Noureddine Physique
06 75 29 72 32

Seulement pour la corde



$$\boxed{v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}}$$

- T : tension de la corde en N.
- μ : masse linéique en kg/m.

$$\boxed{\mu = \frac{m}{\ell}}$$

m ← masse de la corde en (kg).
ℓ ← longueur de la corde (m).

Q1 - Verifier l'homogeinité de cette formule ?

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

Grandeur	Unité	Dimension
longueur (l, d, r, h)	m (mètre)	$[l] = [d] = [r] = [h] = L$
masse m	kg	$[m] = M$
temps t	s	$[t] = T$
Intensité de force (f, R, P)	N	II loi de Newton $\sum \vec{F}_{ext} = m\,\vec{a}_G$ $[F] = MLT^{-2}$

$$\rightarrow v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \qquad \sqrt{x} = x^{1/2}$$

$$[v] = LT^{-1} = m\,s^{-1}$$

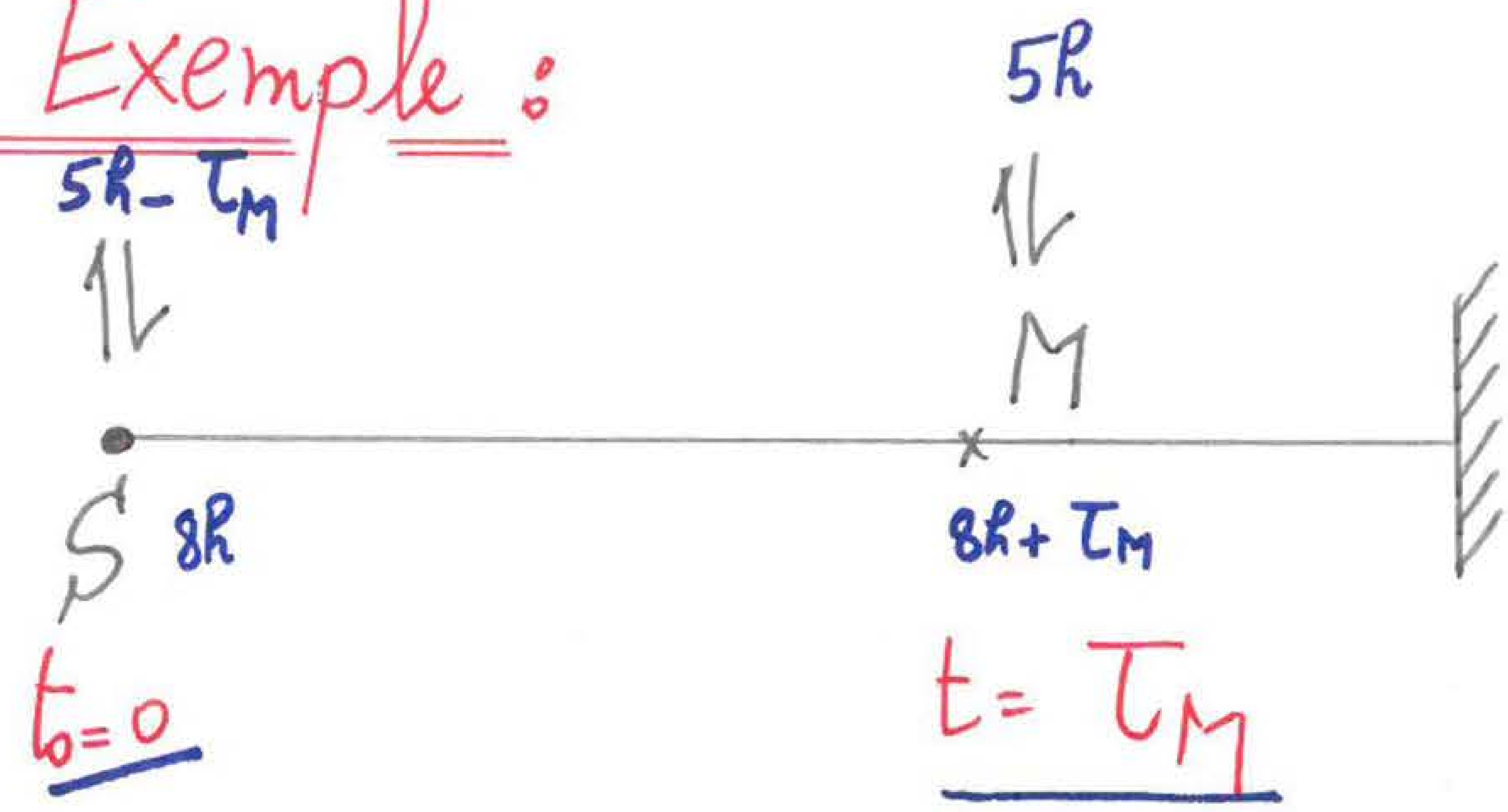
$$[v] = \left(\frac{[T]}{[\mu]}\right)^{1/2} = \left(\frac{[T]}{\frac{[m]}{[l]}}\right)^{1/2}$$

$$= \left(\frac{\cancel{M}LT^{-2}L}{\cancel{M}}\right)^{1/2}$$

$$= \left(L^2T^{-2}\right)^{1/2} = LT^{-1}$$

Donc : $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ est homogène.

• Exemple :



Mvt

Q- Ecrire l'expression de l'élongat° de M, en fct de l'élongation de S ?

$$\boxed{y_M(t) = y_S(t - \tau_M)}$$

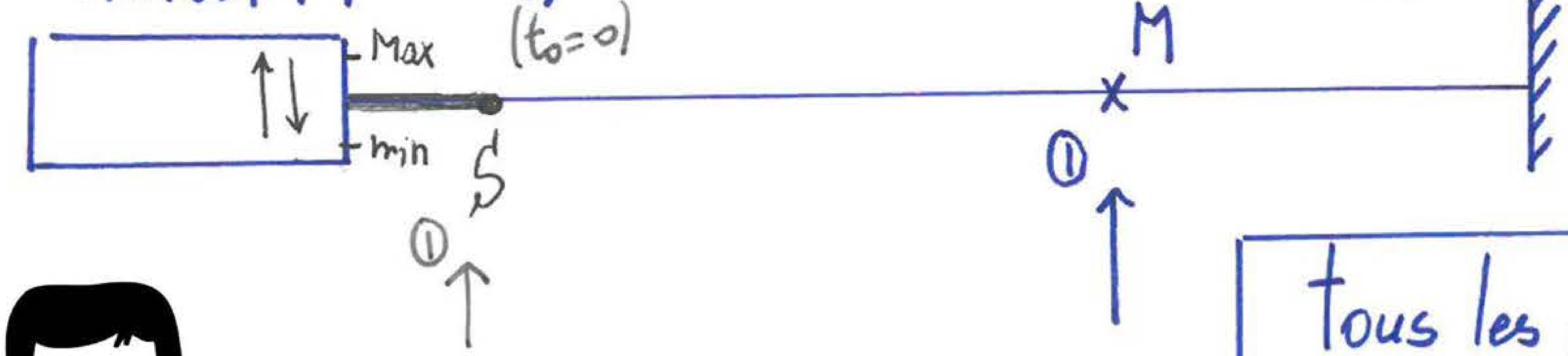
A.N

\# $\boxed{y_S(t) = y_M(t + \tau_M)}$

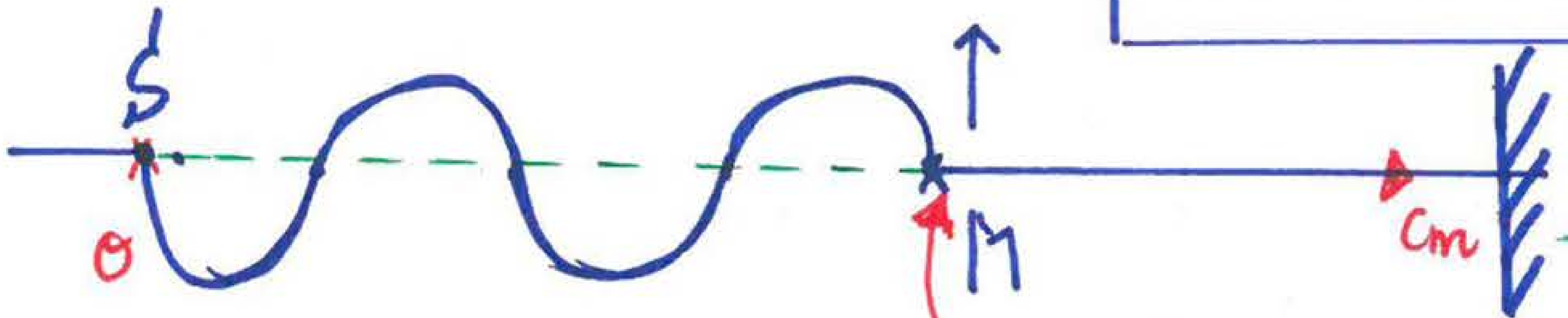
* Les ondes mécaniques progressives périodiques

Vibreur ($f = 100\,Hz$)

$t_1 = \tau_M$



tous les pts du milieu repetent le m̂ mvt de la source, mais avec un retard temporel

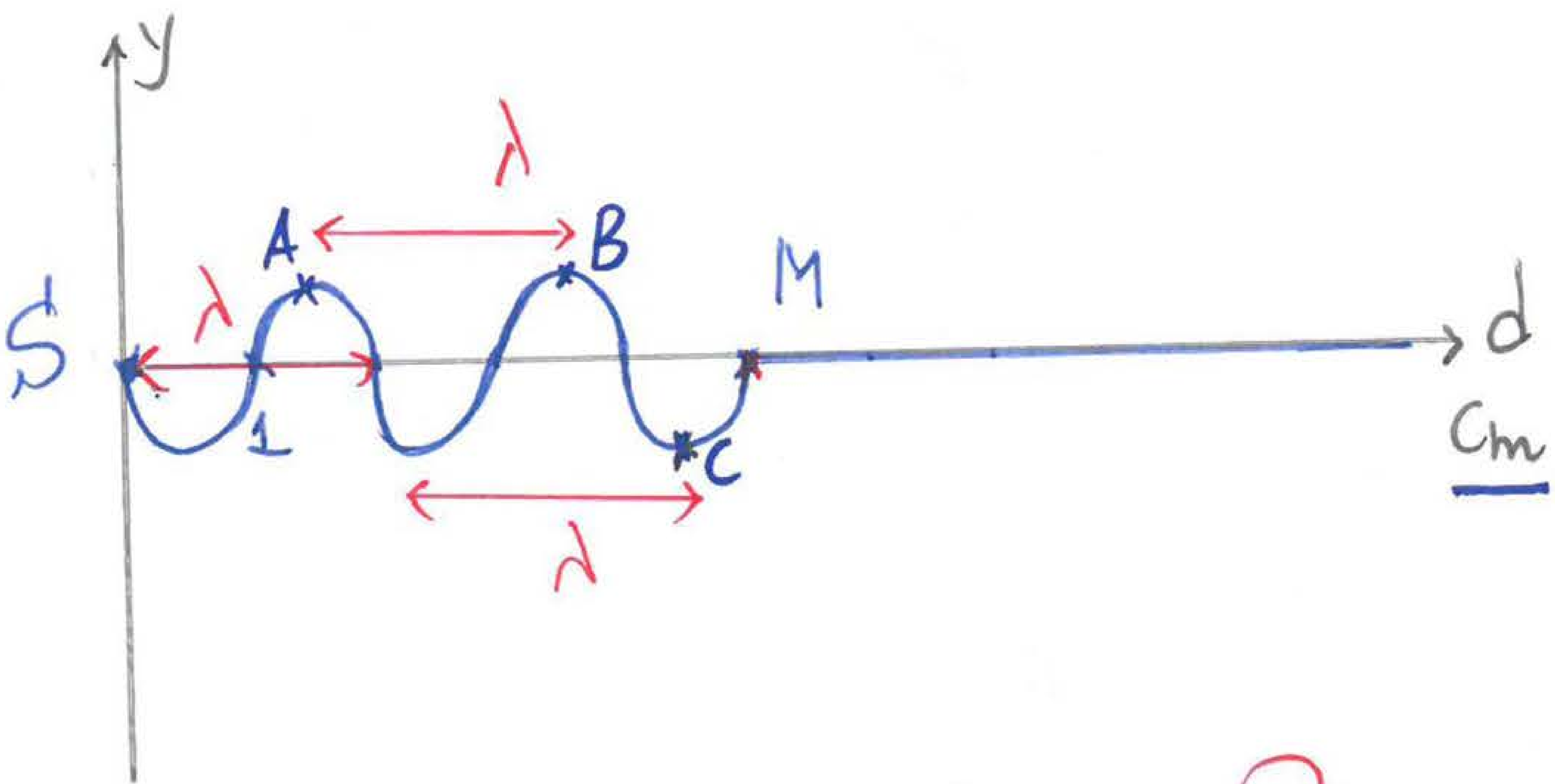


Aspect À $t_1 = 20ms$

Autre Cas

* Aspect d'une corde à $t_1 = 20ms$

photo prise à $t_1 = 20ms$



Q1 | mvt de M pour la 1ère fois ?

le mvt de M pour la 1ère fois est Vers le bas, car le pt qui précède M est en bas

* longueur d'onde - périodicité spatiale λ

C'est la distance parcourue par l'onde pendant une durée T (la période).

↳ graphiquement :

$$\lambda = 2\ cm$$

* Etat vibratoire de 2 pts

→ 2 pts vibrent en phase

On dit que A et B vibrent en phase,

Si : $\boxed{AB = k.\lambda}$; $k \in \mathbb{N}^*$

$\frac{AB}{\lambda} = 1, 2, 3, 4$

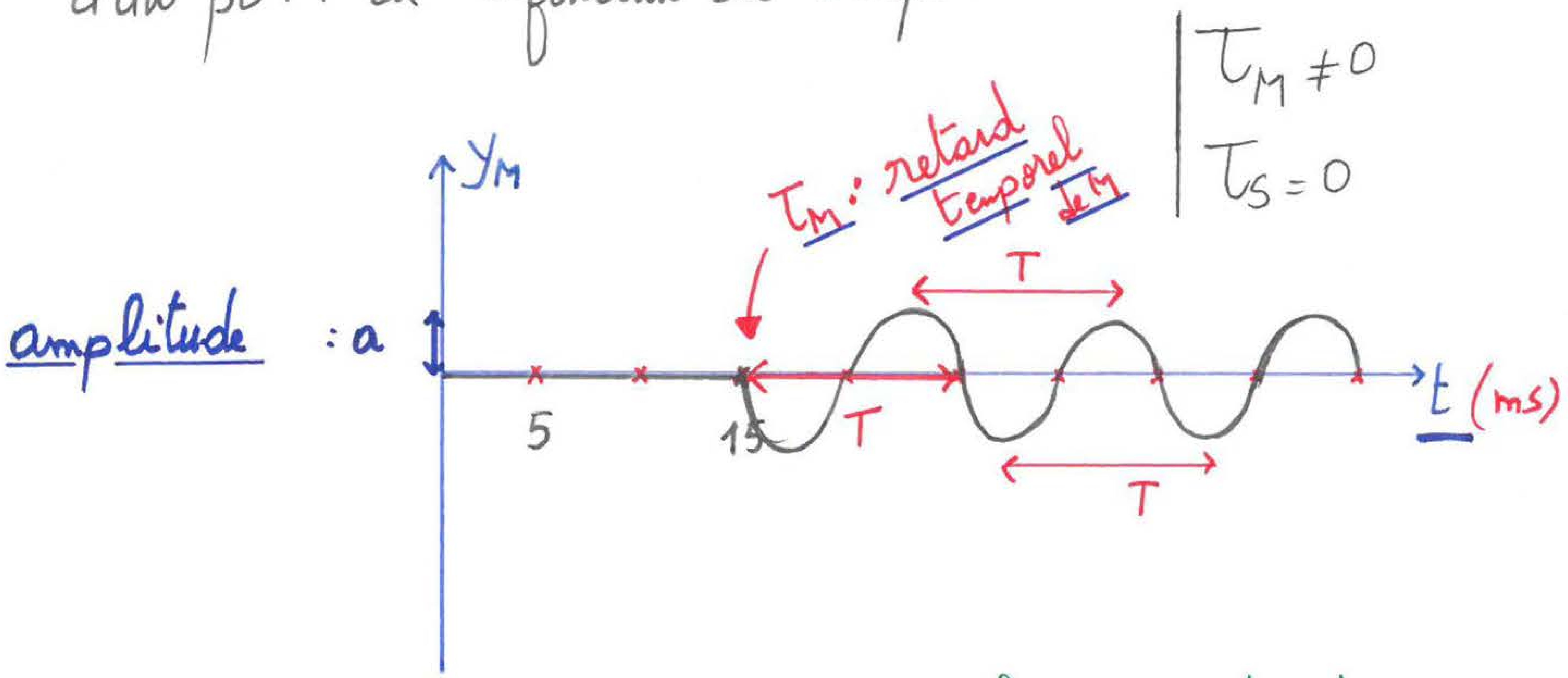
→ 2 pts vibrent en opposition de phase

On dit que A et C vibrent en opposition de phase ; si : $\boxed{AC = \frac{2k+1}{2} . \lambda}$; $k \in \mathbb{N}$

$\frac{AC}{\lambda} = \ldots\ldots , 5$

* Elongation d'un point M :

↳ graphe qui represent l'évolution de mvt d'un pt M en fonction de temps.



* Périodicité temporelle (la période T) :

Définition : la durée nécessaire pour que l'onde parcours une distance λ (longueur d'onde).

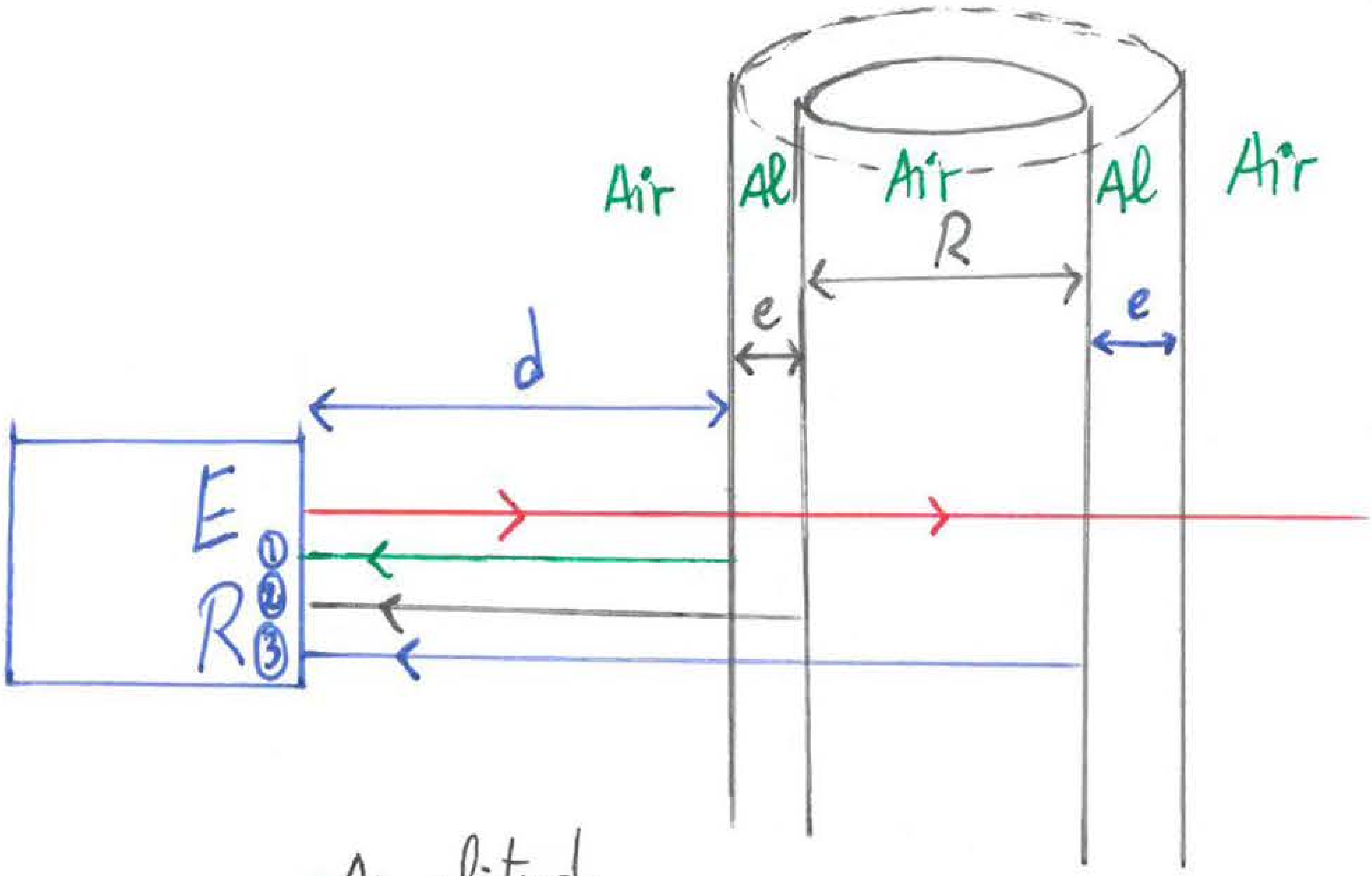
Formules :

- $v = \dfrac{\lambda}{T}$ ← λ en m, T en s
- fréquence en (Hz) → $N = \dfrac{1}{T}$ ← T en (s)
- $v = \lambda \cdot N$

Exemple : Les ondes ultra-sonores

Application du sonare.

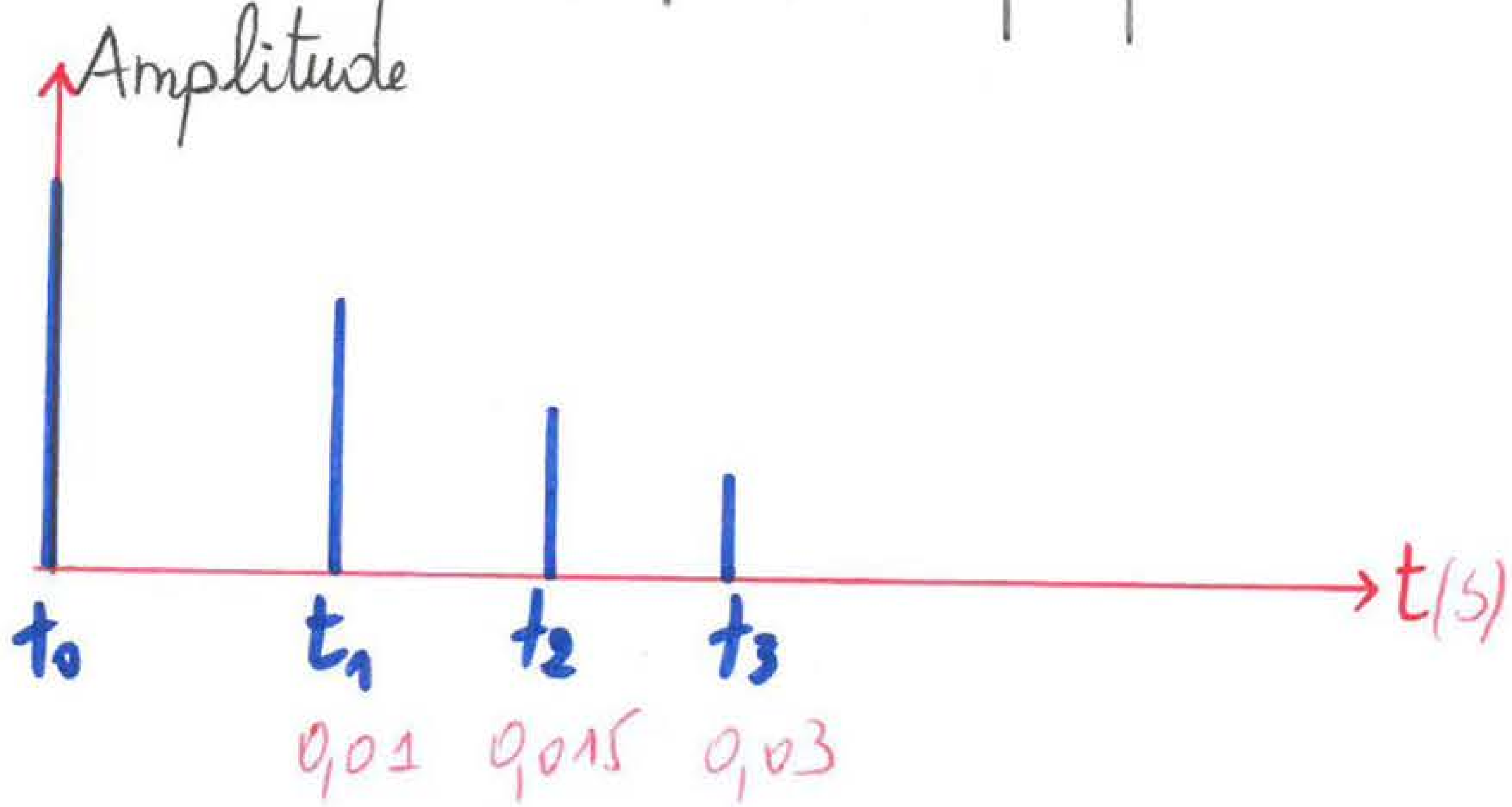
Exemple : National SM



$v_{Air} = 340\ m/s$

$v_{Al} = 2000\ m/s$

Calculer e, R ?



↳ On cherche l'expression des temps t_1, t_2, t_3

- $t_1 = \overset{\text{Aller}}{\Delta t} + \overset{\text{Retour}}{\Delta t}$

$$\boxed{t_1 = \frac{d}{v_{air}} + \frac{d}{v_{air}} = 2\frac{d}{v_{air}}}$$

- $t_2 = \overset{\text{Aller}}{\Delta t} + \overset{\text{Aller}}{\Delta t} + \overset{\text{Retour}}{\Delta t} + \overset{\text{Retour}}{\Delta t}$

$$= \frac{d}{v_{air}} + \frac{e}{v_{Al}} + \frac{e}{v_{Al}} + \frac{d}{v_{air}}$$

$$t_2 = \frac{2d}{v_{air}} + \frac{2e}{v_{Al}}$$

$$t_2 = t_1 + \frac{2e}{v_{Al}} \longrightarrow \frac{2e}{v_{Al}} = t_2 - t_1$$

Noureddine Physique
06 75 29 72 32

$$\boxed{e = \frac{(t_2 - t_1)\cdot v_{Al}}{2}}$$

$$\bullet\ t_3 = \overset{\text{Aller}}{\Delta t} + \overset{\text{Aller}}{\Delta t} + \overset{\text{Aller}}{\Delta t} + \overset{\text{Retour}}{\Delta t} + \overset{\text{Retour}}{\Delta t} + \overset{\text{Retour}}{\Delta t}$$

$$t_3 = \underbrace{\frac{2d}{v_{air}} + \frac{2e}{v_{Al}}} + \frac{2.R}{v_{air}}$$

$$t_3 = t_2 + \frac{2.R}{v_{air}}$$

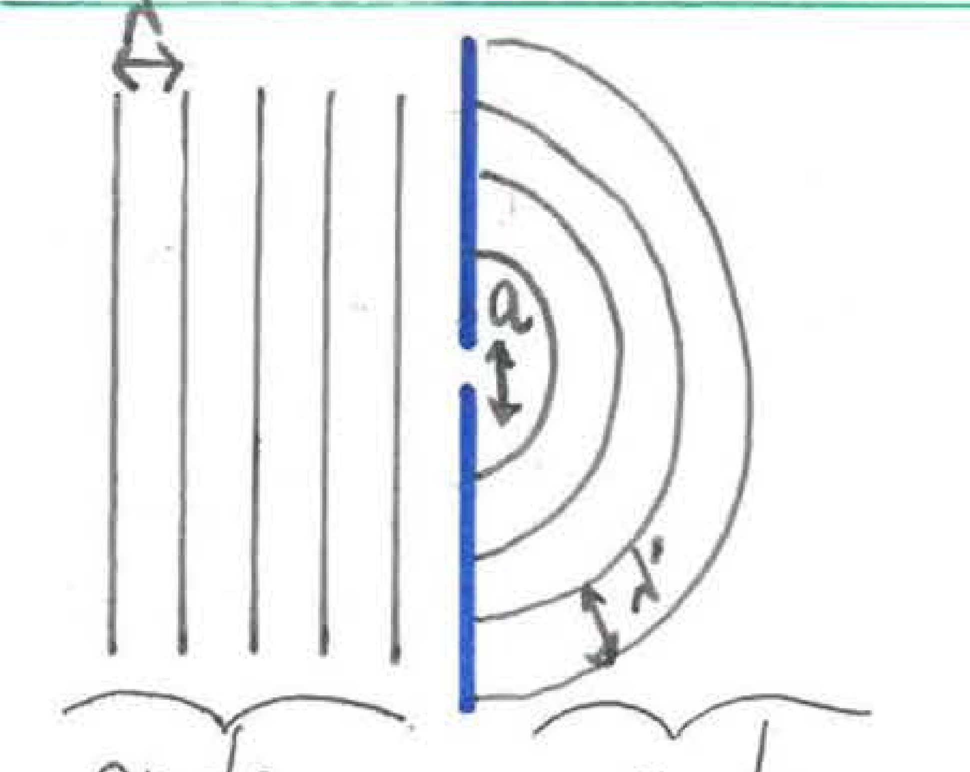
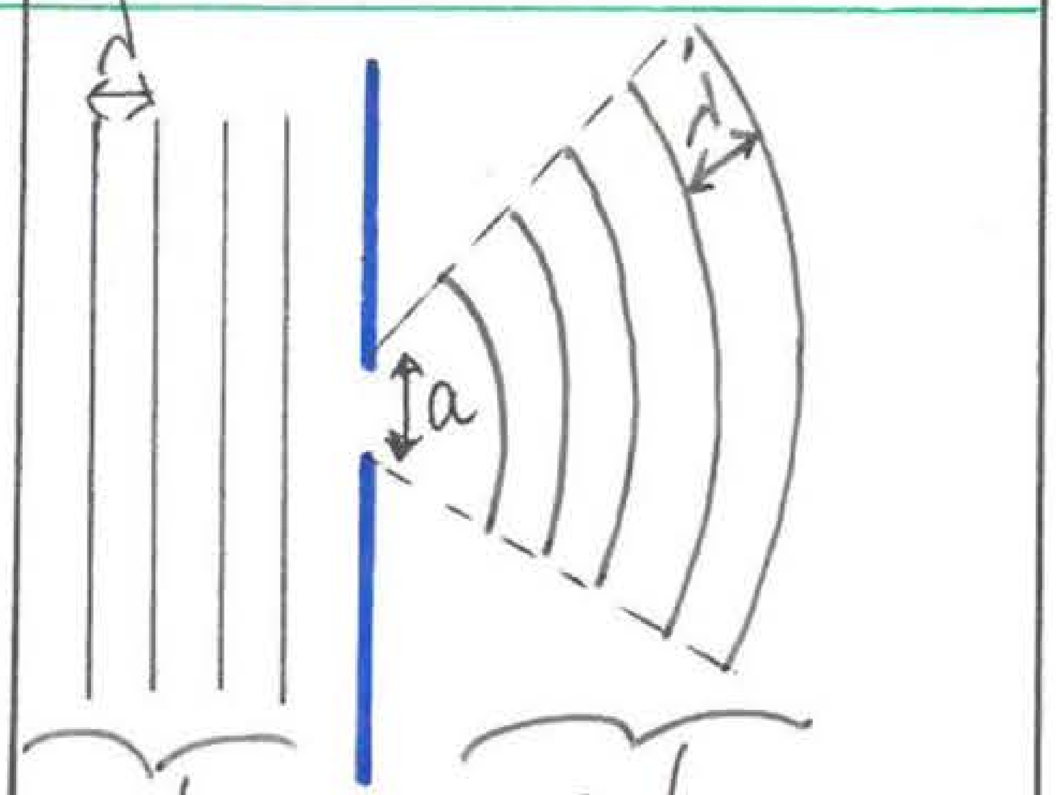
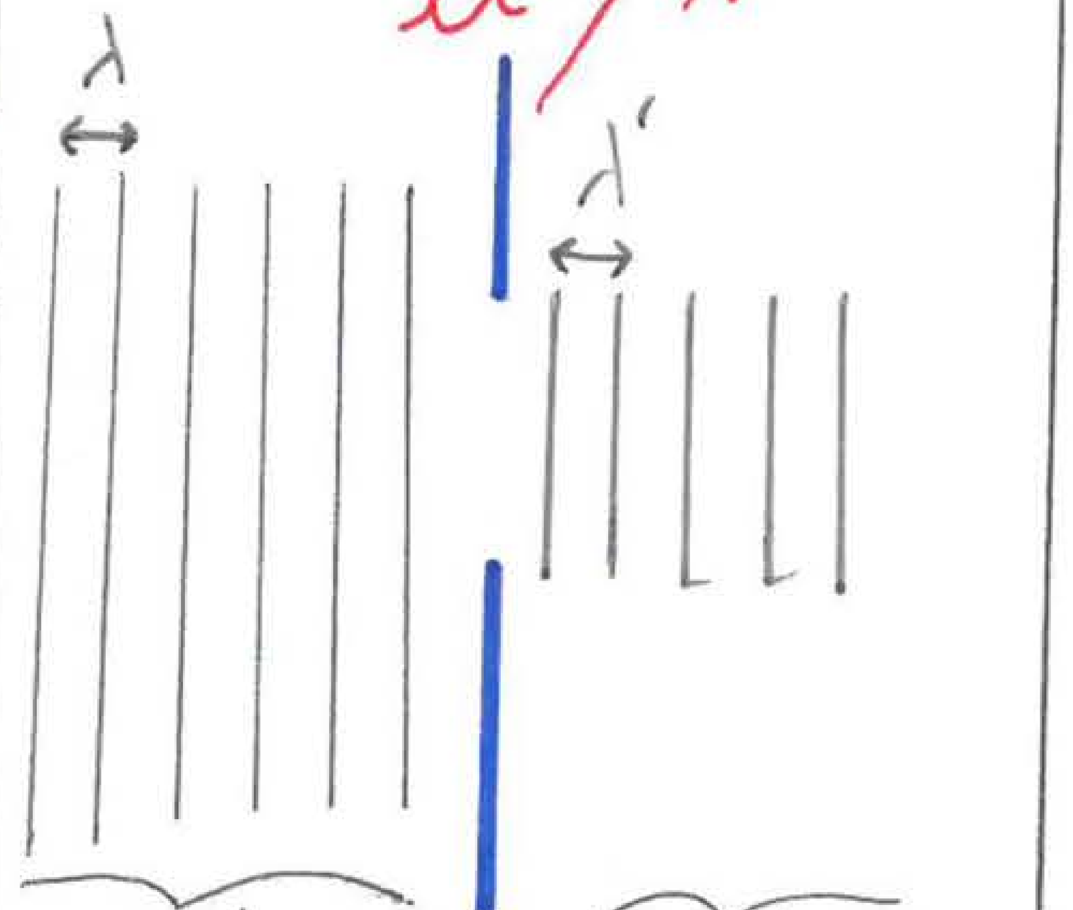
$$\frac{2R}{v_{air}} = t_3 - t_2$$

$$\boxed{R = \frac{(t_3 - t_2)\cdot v_{air}}{2}}$$

* Diffraction

C'est le changement de direction de propagation, après un obstacle.

Condition de diffract°

Diffraction $a \leq \lambda$		pas de diffraction $a > \lambda$
$a <$	$a \simeq \lambda$	$a > \lambda$
		
Onde incidente / Onde diffractée	Onde incidente / Onde diffractée	Onde incidente / Onde diaphragmé
$\lambda = \lambda'$ $v = v'$ $N = N'$	$\lambda = \lambda'$ $v = v'$ $N = N'$	$\lambda = \lambda'$ $v = v'$ $N = N'$

* Milieu dispersif :

· Définition :

On dit un milieu est dispersif, si la vitesse de propagation de l'onde dépend de la fréquence.

⚠ si je change la fréquence → la vitesse change.

Exemple : l'eau est un milieu dispersif (les ondes sonores).

Exercices Corrigés

1

1- Une onde mécanique transporte:

(a) de la matière (b) de l'énergie

2- Une onde sonore transporte:

(a) de la matière (b) de l'énergie (c) de l'air

3- Une onde sonore est une onde:

(a) transversale (b) longitudinale

4- Plus un son est fort, plus sa propagation est rapide:

(a) Vrai (b) Faux

5- Plus un gaz est chaud, plus la célérité du son y est:

(a) élevée (b) basse

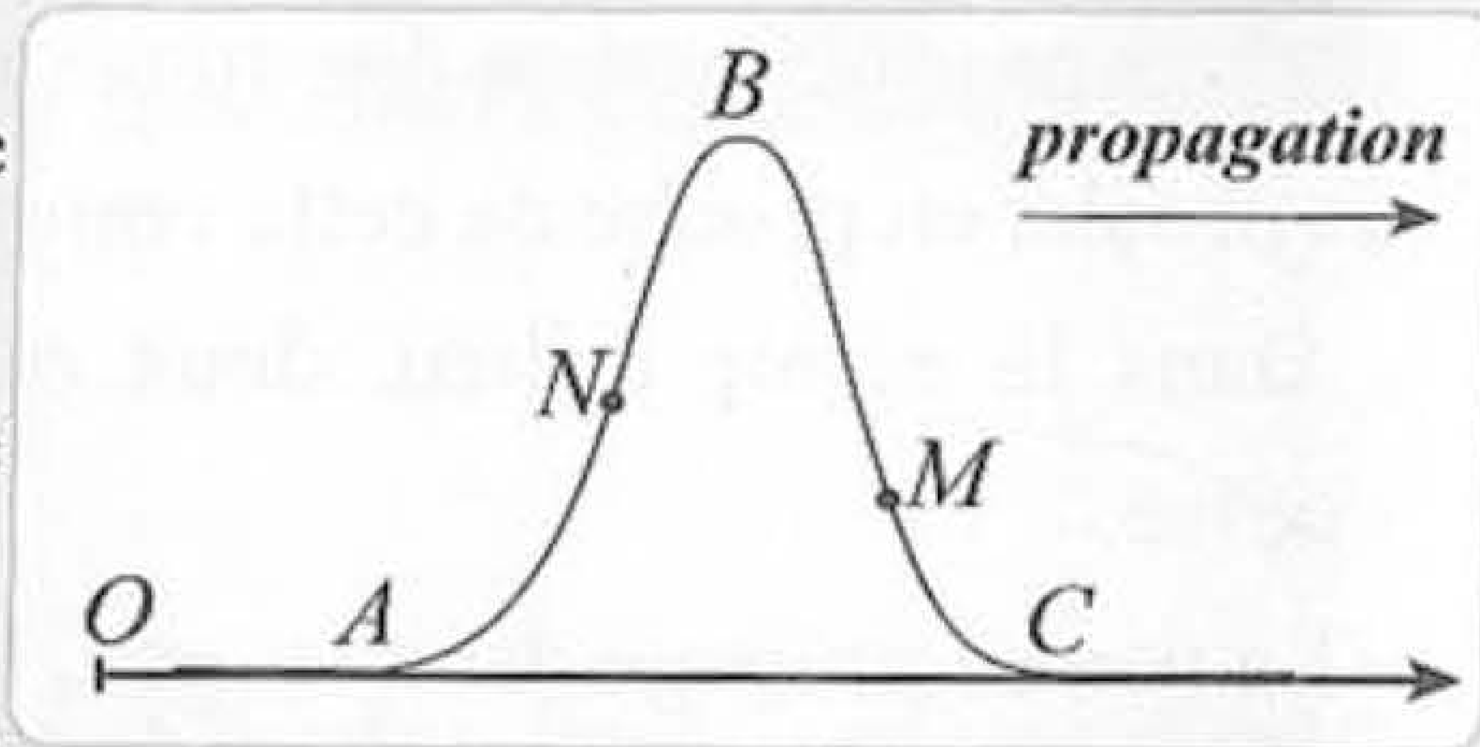
Solution

1- (b) ; **2-** (b) ; **3-** (b) ; **4-** (b) ; **5-** (a)

2

Une onde transversale se propage le long d'une corde, à la célérité $v = 25 m.s^{-1}$.

On donne $AC = 10 cm$. On représente ci-contre l'aspect de la corde à un instant t.

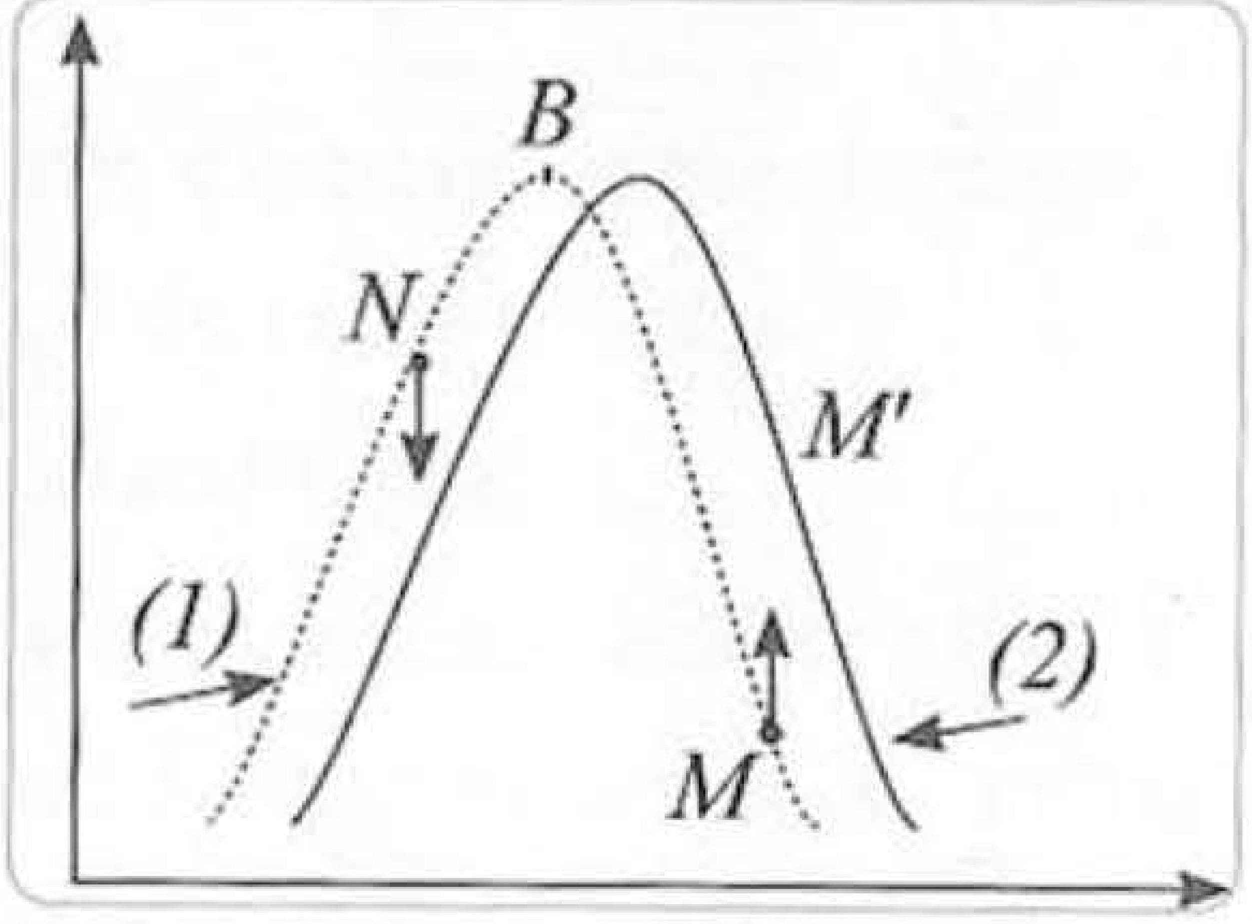


1- Sur la figure, indiquer quels sont les points de la corde qui se déplacent vers le haut, et ceux qui se déplacent vers le bas.

2- Quelle a été la durée t d'émission du signal?

Solution

1- La déformation se déplace vers la droite suivant l'axe Ox.



A la date $t' > t$ (t' proche de t), elle occupe la position (2) sur le schéma. Cette position est obtenue par translation.

On remarque alors que le point M du milieu monte vers le haut et le point N descend vers le bas.

2- La durée de l'émission du signal est la durée pendant laquelle un point est en mouvement.

$$\Delta t = \frac{AC}{V} = \frac{10.10^{-2}}{25} = 4 ms^{-1}.$$

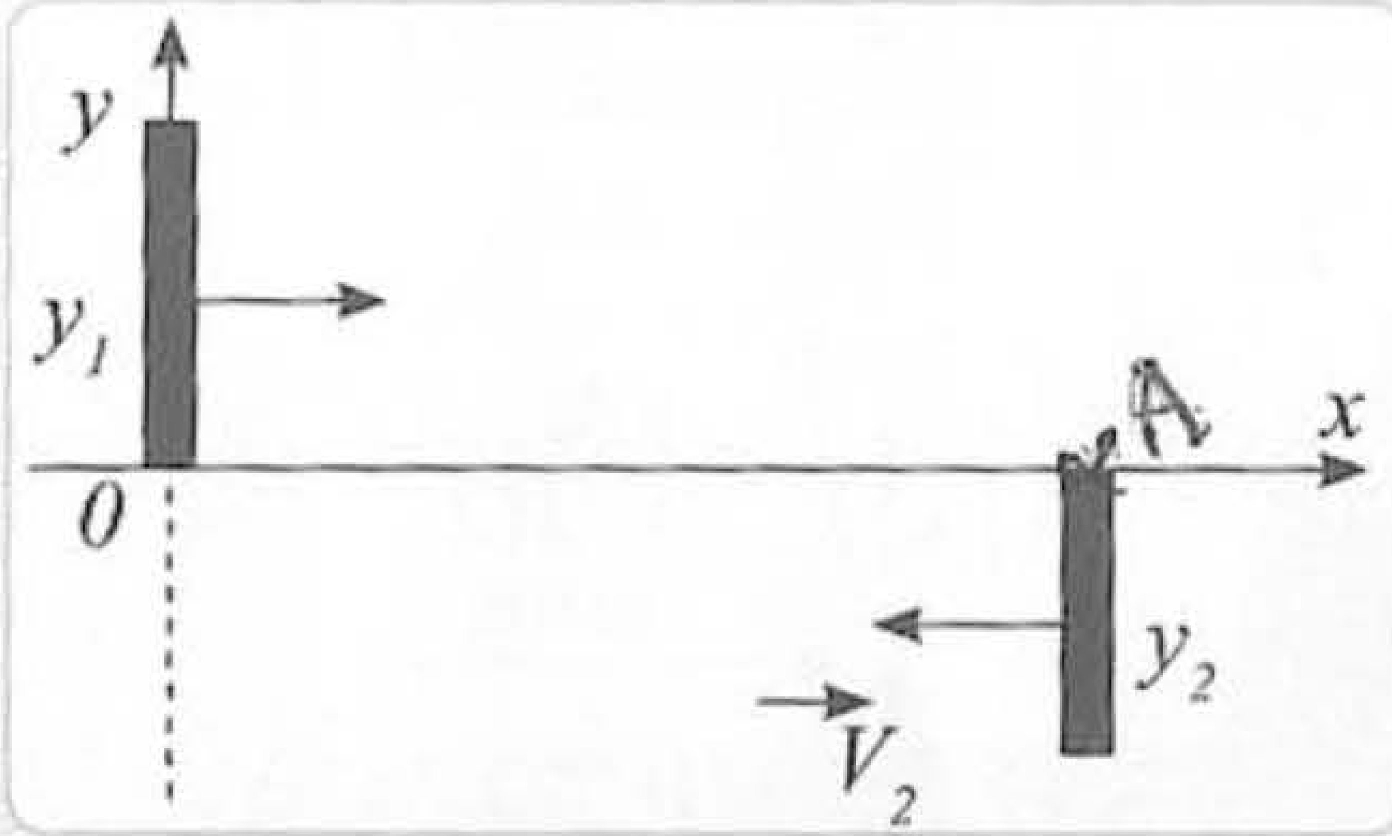
3 Une onde transversale d'ordonnée $y_1 = 10mm$ se propage sur l'axe Ox à la vitesse V_1.

A la date $t = 0$; elle se trouve au point O.

- Une deuxième onde de même nature; d'ordonnée $y_2 = -4mm$ se propage à la vitesse V_2 dans le sens opposé suivant la même direction.

A la date $t = 0$; elle passe par le point A.

On donne: $V_1 = 30cm.s^{-1}$; $V_2 = 20cm.s^{-1}$; $OA = d = 50cm$.



1- Déterminer l'abscisse x du point M où les deux ondes se superposent.

2- Calculer l'ordonnée y de l'onde résultante.

3- Quelle est la date t_M.

Solution

1- Pour atteindre le point M, à l'instant t:

- L'onde (1) parcourt la distance:

$OM = x = v_1.t$;

-L'onde (2) parcourt la distance: $AM = v_2.t$

d'où: $\frac{OM}{v_1} = \frac{AM}{v_2}$;

avec: $AM = OA - OM = d - x$

On a alors: $\frac{x}{v_1} = \frac{d-x}{v_2}$;

$(v_2 - v_1)x = v_1.d$; $x = \frac{v_1}{v_1 + v_2}.d$

$x = \frac{30}{50}.50cm = 30cm$

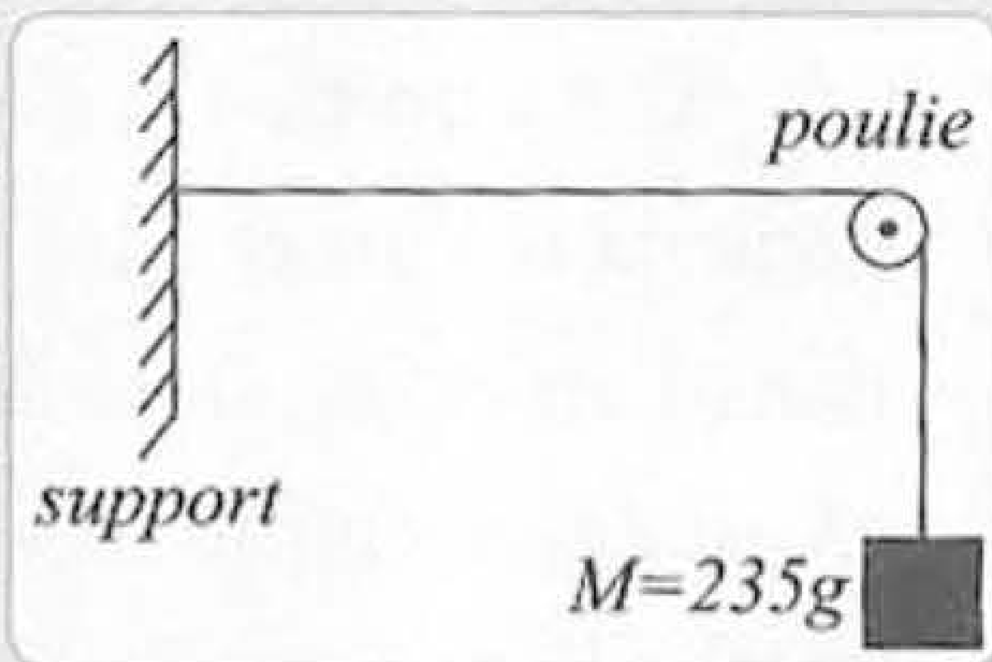
2- Au point M les deux ondes se superposent pour donner une onde résultante d'amplitude $y = y_1 + y_2$.

Soit: $y = 10 - 4 = 6mm$

3- $t_M = \frac{x}{v_1} = \frac{30}{20} = 1,5s$

4 La célérité d'une onde se propageant le long d'une corde dépend de la tension F de la corde et de sa masse linéique μ (masse par unité de longueur).

Une corde est tendue comme le montre la figure ci-contre.



Données: Masse de la corde $m = 176g$.

Longueur de la corde $\ell = 11m$; et $g = 9,8N.kg^{-1}$

1- Montrer en utilisant l'expression du théorème de l'énergie cinétique que: $1N = 1kg.m.s^{-2}$.

2- A l'aide d'une analyse dimensionnelle, choisir la bonne réponse pour l'expression de la célérité de cette onde; parmi les propositions suivantes:

a- $\sqrt{\frac{F}{\mu}}$; b- $F.\mu^2$; c- $F.\mu$; d- autre.

3- Choisir la bonne réponse pour la valeur de cette célérité:

a- $5m/s$; b- $12m/s$; c- $25m/s$; d- $30m/s$.

Solution

1- Utilisons le théorème de l'énergie cinétique:

On: $\Delta E_C = W = F.d$;

ou encore: $\frac{1}{2}mV^2 = F.d$

$$F = \frac{1}{2}\frac{m.V^2}{d} ; [F] = \frac{M.L^2.T^{-2}}{L} = M.L.T^{-2}$$

2-

$$[V] = \left(\frac{[F]}{[\mu]}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{M.L.T^{-2}}{M.L^{-1}}\right)^{\frac{1}{2}} = (L^2.T^{-2})^{\frac{1}{2}g^{-1}}$$

$$= L.T^{-1}$$

Dans le système des unités international: V est en $m.s^{-1}$.

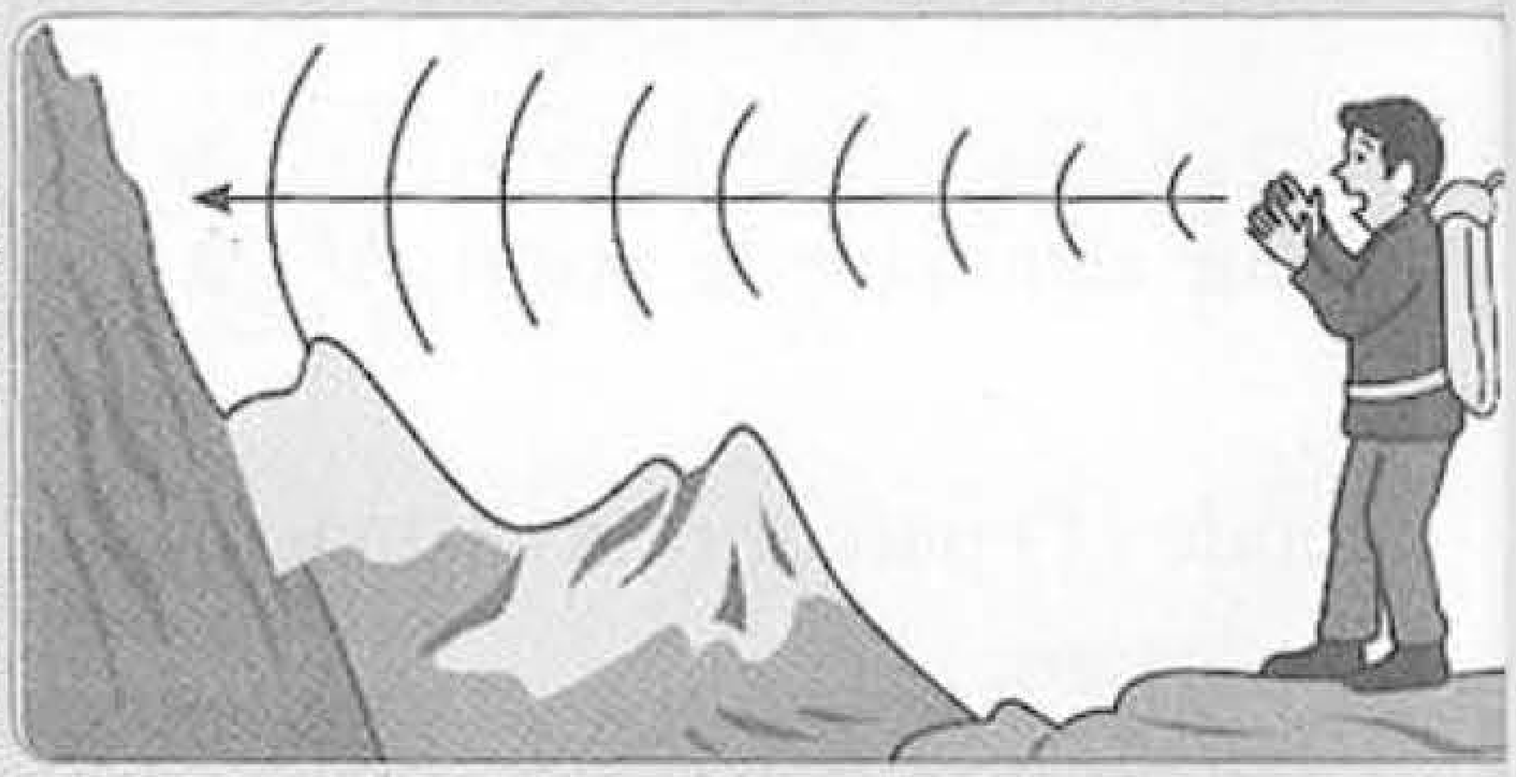
3-

$$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{M.g}{m/\ell}} = \sqrt{\frac{M.g.\ell}{m}}$$

$$V = \sqrt{\frac{0,235.9,8.11}{0,176}} \simeq 12m.s^{-1}$$

Bonne réponse (b).

5 L'écho est la réflexion des bruits qui s'observe facilement en montagne, au voisinage d'une paroi rocheuse.



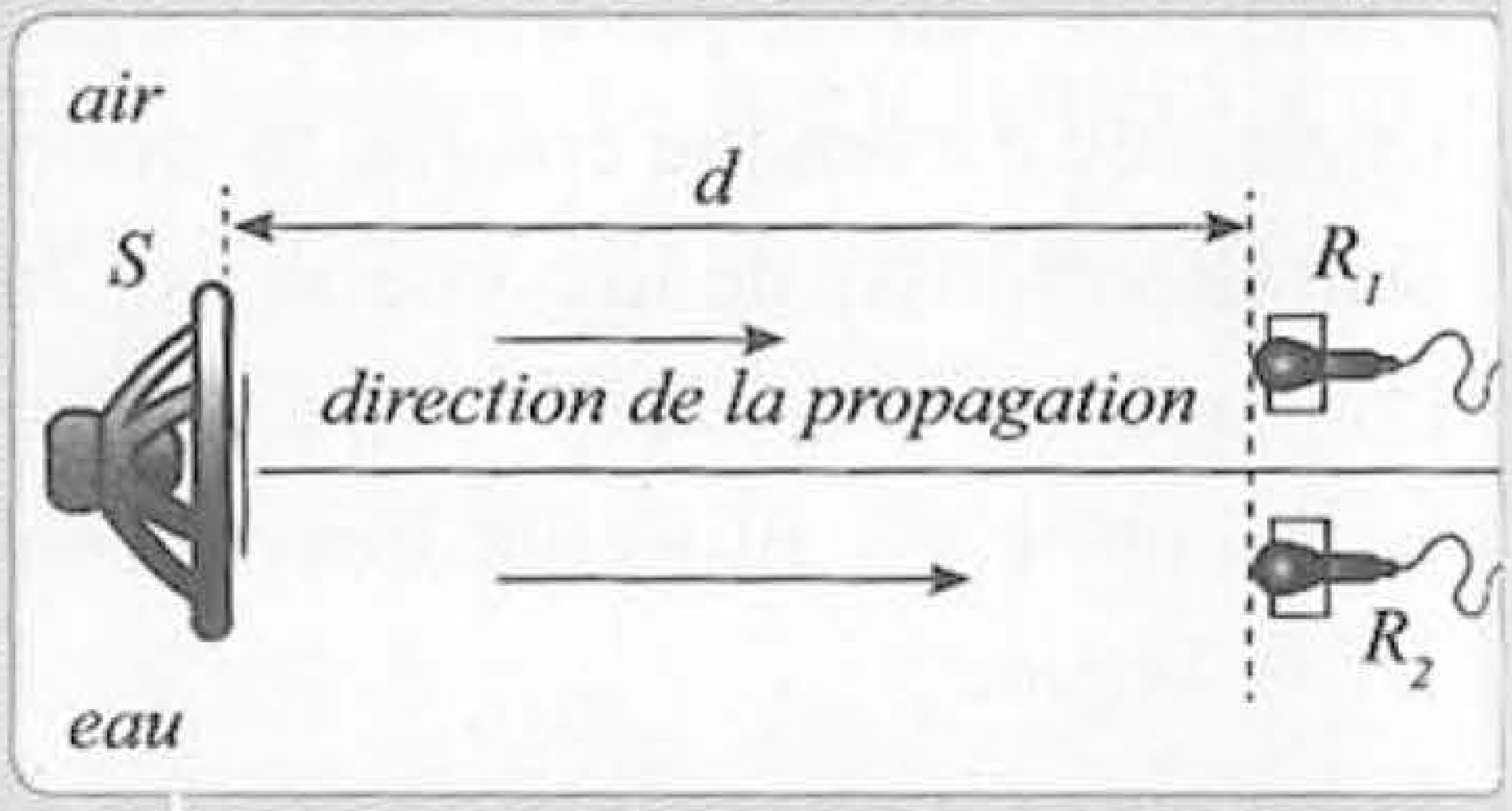
Un randonneur mesure la durée séparant l'émission d'un bruit de la réception de son écho; il trouve $\Delta t = 3,5s$.

Calculer la distance du randonneur à la paroi rocheuse sachant que la célérité du son dans l'air vaut $v = 330m.s^{-1}$.

Solution

$$2d = V.\Delta t \; ; \; d = \frac{V.\Delta t}{2} = \frac{330.3,5}{2} = 577,5m$$

6 Dans un bassin d'essais, une source sonore S émet un bruit intense qui se propage dans l'air et dans l'eau. Le bruit est reçu par deux récepteurs sonores: R_1 placé dans l'air et R_2 situé dans l'eau.



Données: Célérité du son:

- Dans l'air: $v_a = 340m.s^{-1}$
- Dans l'eau: $v_e = 1500m.s^{-1}$

1- Quel est le récepteur qui, le premier, détecte le bruit produit par la source?

2- On note Δt la durée séparant la détection du bruit par les récepteurs R_2 et R_1. Exprimer la distance d séparant la source des récepteurs en fonction de la durée Δt et des célérités v_a et v_e.

3- Calculer la valeur de d pour $\Delta t = 0,50s$.

Solution

1- R_2 ; car l'onde sonore est beaucoup plus rapide dans l'eau que dans l'air.

2- Dans l'eau: $d = v_e.t_e$

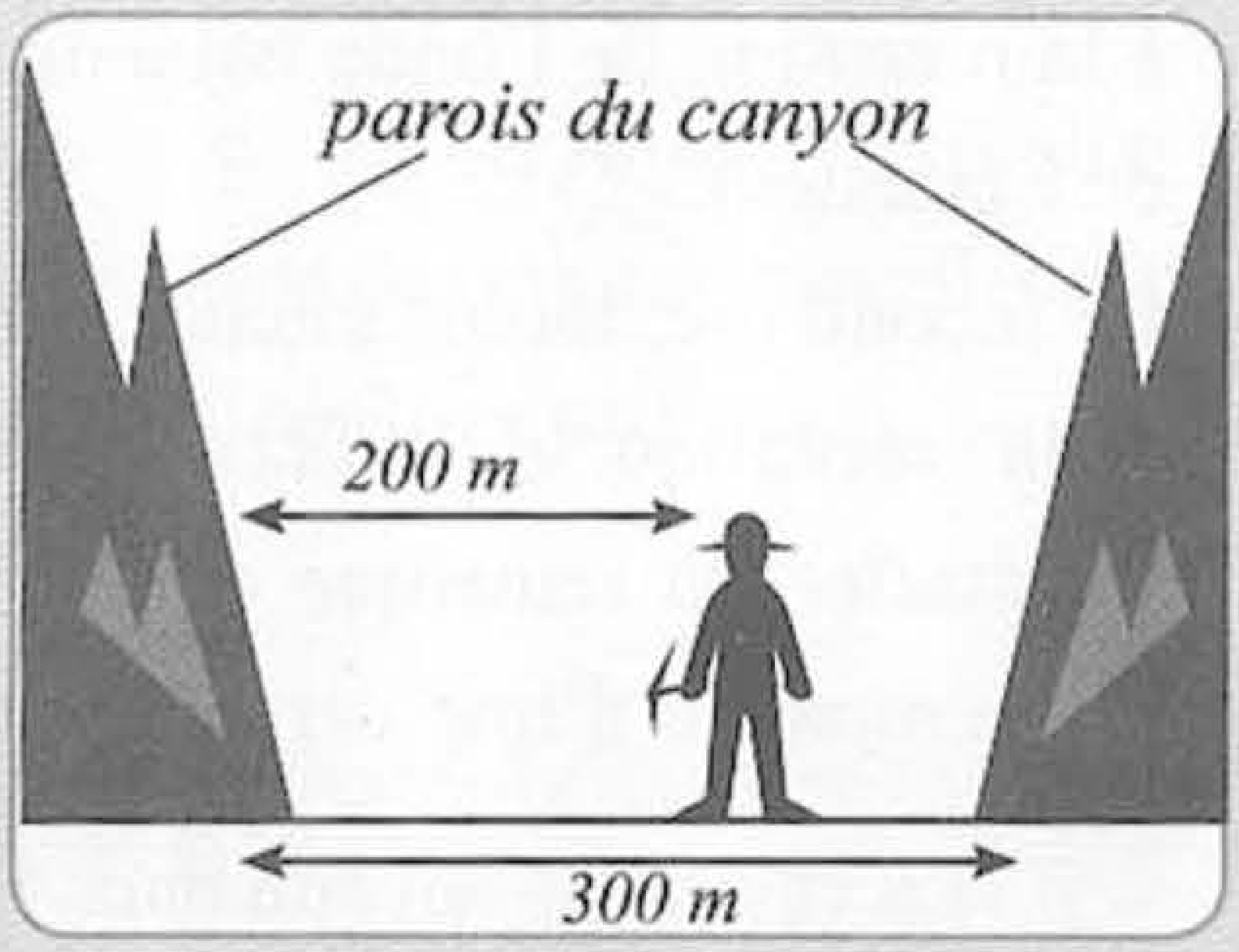
et dans l'air: $d = v_a.t_a$.

$$\Delta t = t_a - t_e = \frac{d}{v_a} - \frac{d}{v_e} = \frac{v_e - v_a}{v_e.v_a}.d$$

$$d = \frac{v_e.v_a}{v_e.v_a}\Delta t$$

3- $d = \frac{1500.340}{1500-340}.0,5 \simeq 220m$

7 Un explorateur se trouve au fond d'un canyon, comme montré sur la coupe transversale ci-dessus. Il pousse un cri, et au bout d'un peu moins d'une seconde, il entend deux échos séparés par un bref intervalle de temps Δt.
Déterminer Δt sachant que la célérité du son est $c_S = 340 m.s^{-1}$.



Solution

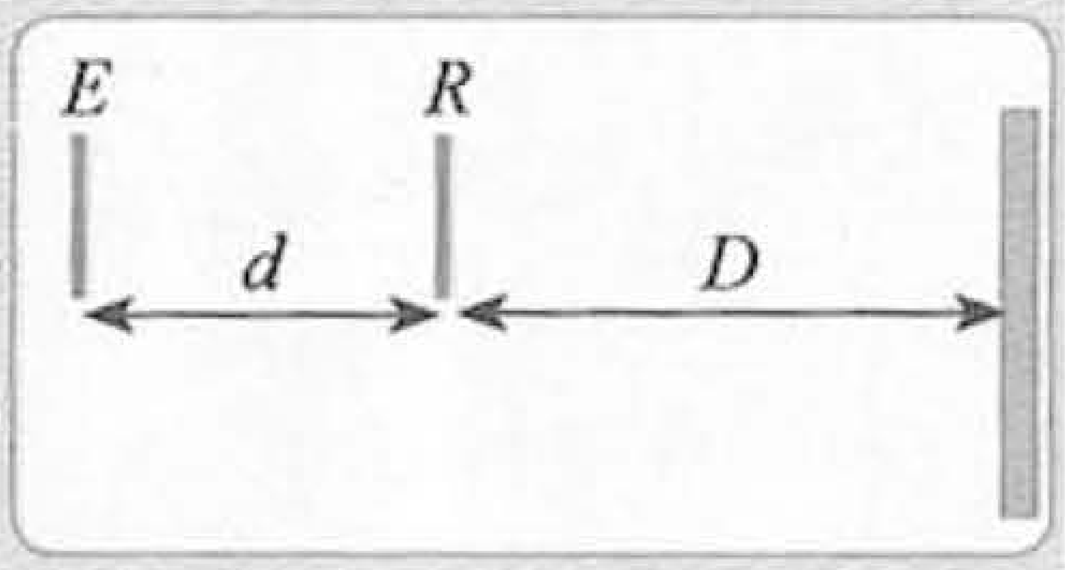
Le premier écho correspond à la réception du signal sonore réfléchi sur la paroi de droite, la plus proche, qui intervient au bout d'un temps $t_1 = \frac{2 \times d_d}{c_S}$, où d_d est distance à la paroi de droite, et où le facteur 2 est là puisque le son doit effectuer un aller et retour.

De la même manière, avec la paroi de gauche, on peut écrire $t_2 = \frac{2 \times d_d}{c_S}$, ce qui permet de dire que l'intervalle de temps est: $\Delta t = t_2 - t_1 = 2\frac{d_g - d_d}{c_S}$

$$= 2 \times \frac{200-100}{340} \approx 0,59s$$

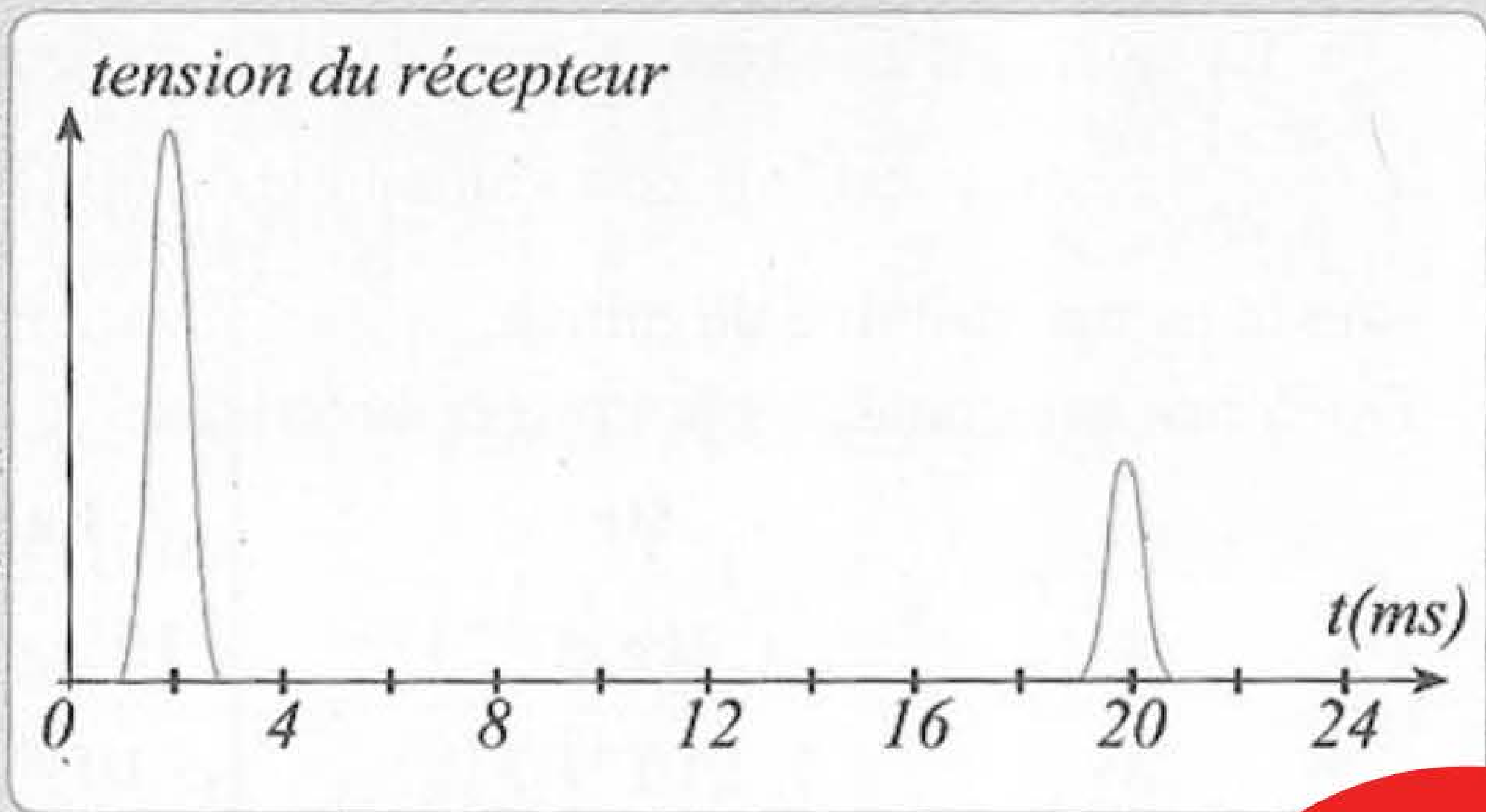
ou encore 6 dixième de seconde.

8 Un émetteur d'ultrasons E envoie à l'instant $t = 0$ un signal qui se réfléchit sur un obstacle. On relève la tension aux bornes du récepteur R. La célérité des ondes dans l'air est $v = 340 m.s^{-1}$.



1- Identifier les deux signaux visualisés.

2- Calculer la distance d entre l'émetteur et le récepteur, et la distance D entre le récepteur et l'obstacle.



Solution

1- Le signal émis par E rencontre une première fois le récepteur; il se dirige ensuite vers l'obstacle, se réfléchit sur celui-ci, puis retourne vers le récepteur. Le premier pic, le plus intense, correspond à la réception de l'onde issue directement de l'émetteur.

Le second pic, moins intense, correspond à la réception de l'écho réfléchi sur l'obstacle. On remarque que la réflexion s'accompagne d'une certaine atténuation du signal.

2- Le signal est émis en $t = 0$. Il parcourt la distance $d = ER$ et est capté en $t_1 = 2ms$.

On a donc: $d = t_1 v = 68cm$.

Le signal parcourt alors 2 fois la distance qui sépare R de l'obstacle avant d'être à nouveau capté en $t_2 = 20ms$.

Il a donc parcouru la distance $2D$ pendant la durée $t_2 - t_1$.

On a donc:

$$D = \frac{1}{2}(t_2 - t_1)v = 3,1m$$

9 La célérité v du son dans l'air est proportionnelle à la racine carrée de la température absolue T.

1- Exprimer mathématiquement cette propriété.

2- On donne la célérité du son dans l'air à $15°C$: $v = 340m.s^{-1}$.

Calculer la célérité du son dans l'air à 0°C.

On donne: $T(K) = \theta°C + 273$.

Solution

1- $v = cte.\sqrt{T} = C.\sqrt{T}$

2- Lorsque $T = T_1$ on écrit: $v_1 = C.\sqrt{T_1}$; et lorsque $T = T_2$, on écrit: $v_2 = C.\sqrt{T_2}$.

alors: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{\sqrt{T_1}}{\sqrt{T_2}} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$

$$V_2 = V_1.\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

à $15°C$: $T_1 = 15° + 273 = 288K$

et à $0°C$: $T_2 = 273K$

$$V_2 = 340\sqrt{\frac{273}{288}} = 331m.s^{-1}$$

10 La célérité d'une onde sonore dans un milieu matériel est donnée par:

$v = \frac{1}{\sqrt{\rho\chi_s}}$, où ρ est la masse volumique du milieu, et χ_s un coefficient caractérisant la compressibilité du milieu.

On donne ces grandeurs pour trois matériaux:

	Air	Eau	Acier
ρ	$1,2kg.m^{-3}$	$10^3kg.m^{-3}$	$7,8.10^3kg.m^{-3}$
X_s	$7,2.10^{-6}Pa^{-1}$	$5.10^{-10}Pa^{-1}$	$5.10^{-12}Pa^{-1}$

Calculer la célérité du son dans chacun de ces milieux. Quel est le paramètre physique qui prédomine pour la variation de cette célérité?

Solution

Calcul des célérités du son dans:

- l'air, $v = 340 m.s^{-1}$.
- l'eau: $v = 1400 m.s^{-1}$.
- l'acier: $v = 5000 m.s^{-1}$.

Une augmentation de la masse volumique du milieu ($\rho_{air} < \rho_{eau} < \rho_{acier}$) entraîne une diminution de la célérité.

Une diminution de la compressibilité du milieu ($X_{S,air} > X_{S,eau} > X_{S,acier}$) entraîne une augmentation de la célérité.

Comme $v_{air} < v_{eau} < v_{acier}$, c'est la variation de compressibilité qui impose son effet sur la célérité dans ces trois milieux.

11 Un tube de pipeline en cours d'installation a été déposé au fond de la mer. Il est encore fermé aux deux extrémités et rempli d'air. Un plongeur frappe avec un marteau sur l'une des extrémités du tube du pipeline. Un second plongeur situé à l'autre extrémité du tube du pipeline perçoit trois coups.

1- Expliquer pourquoi le plongeur entend trois coups.

2- La célérité d'une onde sonore dans un gaz vérifie la relation suivante:

$V = \sqrt{\frac{\gamma.R.T}{M}}$; γ est une constante qui vaut 1,4 dans le cas de l'air, R est la constante des gaz parfaits, T est la température absolue et M la masse molaire du gaz. Les unités $S.I.$ sont utilisées.

a- Vérifier l'homogénéité de l'expression de V.

b- Calculer la célérité du son dans l'air contenu dans le pipeline.

3- Les deux premiers coups sont perçus avec un décalage $\Delta t = 0,18 s$. En déduire la longueur L du pipeline.

Données: $R = 8,31 J.mol^{-1}; K^{-1}$; $\theta = 5,0°C$;

$M = 29 g.mol^{-1}$; $V_{acier} = 5800 m.s^{-1}$; $V_{eau} = 1500 m.s^{-1}$.

Solution

1- Le son se propage dans trois matériaux différents: l'acier, l'eau, l'air.

La célérité du son est différente dans chacun de ces matériaux.

Il percevra trois sons distincts.

2.a-

$$[V] = \left(\frac{[R.T]}{[M]}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left(\frac{M.L^2.T^{-2}.mol^{-1}.\theta^{-1}.\theta}{M.mol^{-1}}\right)$$

$$= L.T^{-1}$$

La relation est homogène.

2.b- La température absolue vaut:

$$T = 273 + 5,0 = 278K$$

et: $M = 29.10^{-3} kg.mol^{-1}$.

$$V = \sqrt{\frac{\gamma.R.T}{M}} = \sqrt{\frac{1,4 \times 8,31 \times 278}{29.10^{-3}}} = 3,3.10^{2} m.s^{-1}$$

3- $\Delta t = \frac{L}{V_{eau}} - \frac{L}{V_{acier}}$;

d'où:

$$L = \frac{\Delta t}{\frac{1}{V_{eau}} - \frac{1}{V_{acier}}} = \frac{0,18}{\frac{1}{1500} - \frac{1}{5800}} = 3,6.10^{2} m$$

12 Lors d'un orage, un éclair s'accompagne de l'émission d'une onde sonore (le tonnerre), et d'une onde lumineuse (la foudre). Un observateur est situé à la distance d du point d'impact de l'éclair. Il entend le tonnerre τ secondes après avoir vu l'éclair.

1- En prenant l'origine des temps à l'instant où l'éclair touche le sol, exprimer, en fonction de d et c, l'instant t_1 où l'éclair atteint l'observateur. Exprimer en fonction de d et de la célérité v de l'onde sonore l'instant t_2 où le tonnerre atteint l'observateur.

2- Exprimer τ en fonction de t_1 et t_2, et en déduire l'expression $d = \frac{v\tau}{1 - \frac{V}{c}}$.

3- Comparer v et c. Justifier que l'on peut écrire $d \approx v\tau$. Calculer d pour $\tau = 3s$.

Solution

1- La lumière parcourt la distance d pendant le temps $t_1 = \frac{d}{c}$. L'onde sonore parcourt cette même distance pendant $t_2 = \frac{d}{v}$.

2- L'intervalle de temps séparant la perception de l'éclair et du tonnerre par l'observateur est $\tau = t_2 - t_1$.

On a donc:

$\tau = d\left(\frac{1}{v} - \frac{1}{c}\right)$, d'où $d = \frac{\tau}{\frac{1}{v} - \frac{1}{c}}$, soit en multipliant par v le numérateur et le dénominateur:

$$d = \frac{v\tau}{1 - \frac{v}{c}}.$$

3- On a numériquement $v \ll c$, soit $\frac{v}{c} \ll 1$.

Le dénominateur s'écrit alors $1 - \frac{v}{c} \approx 1$, d'où $d \approx v\tau$.

Pour $\tau = 3s$, on a: $d = 340 \times 3 \approx 1km$.

13 Le 23 février 2004, un séisme de magnitude 5,1 selon le Réseau national de surveillance sismique s'est produit à Roulans (dans le département du Doubs), à 20km au nord-est de Besançon. Ce séisme a été ressenti très largement en dehors du Doubs dans tout l'est de la France, en Suisse et dans le nord-ouest l'Allemagne, sans faire de victimes ni de dégâts significatifs.

Lors d'un séisme, des ondes 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.

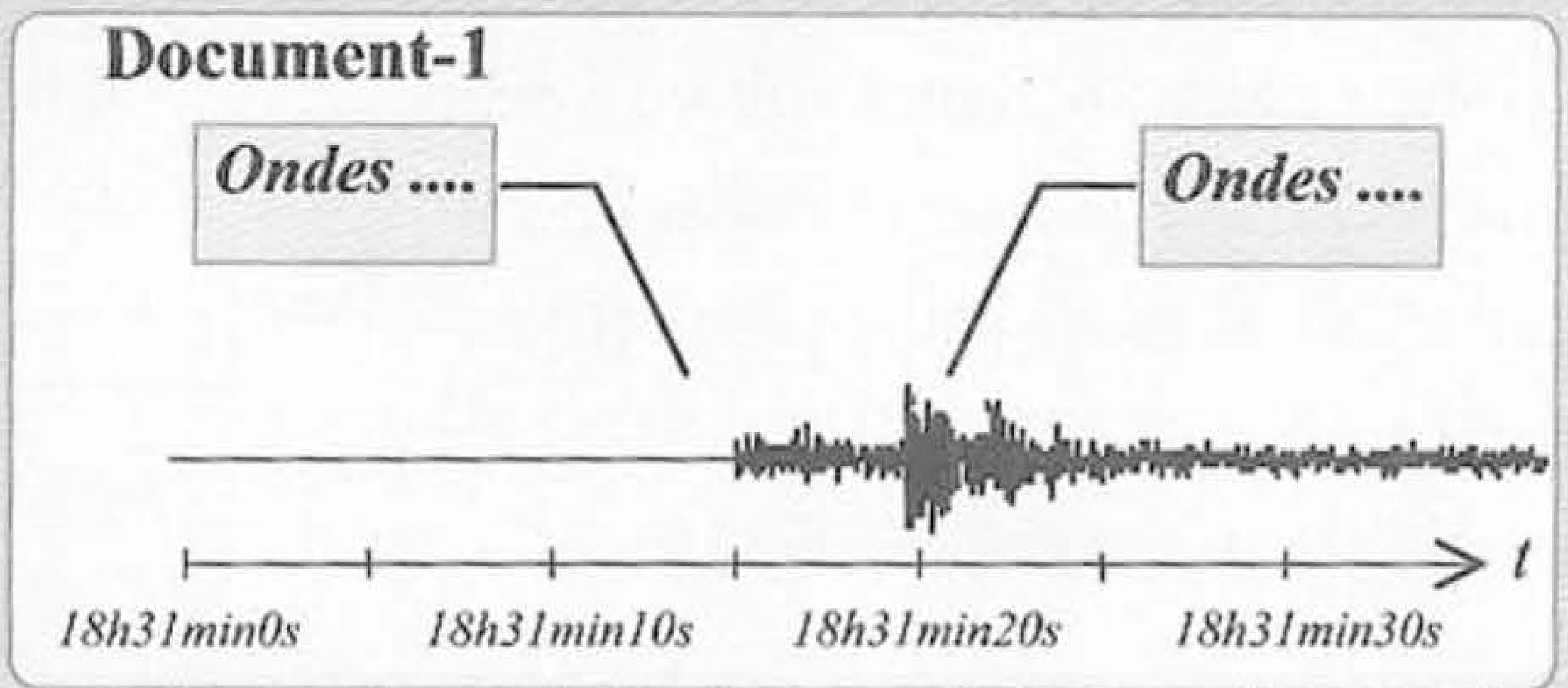
Parmi les ondes sismiques, on distingue:

- les ondes P ou ondes primaires, qui sont des ondes de compression ou ondes longitudinales; leur célérité v_P vaut en moyenne $v_p = 6,0 km.s^{-1}$.
- les ondes S ou ondes secondaires, appelées également ondes de cisaillement ou ondes transversales; leur célérité v_S vaut en moyenne $v_S = 3,5 km.s^{-1}$.

L'écart entre les dates d'arrivée des ondes P et S renseigne, connaissant la célérité des ondes, sur l'éloignement du lieu où le séisme s'est produit.

Le document 1 (ci-après) présente un extrait de sismogramme relevé dans une station d'enregistrement après le séisme du 23 février de Roulans.

On notera t_0 la date correspondant au début du séisme, date à laquelle les ondes P et S sont générées simultanément.



1- En utilisant des informations du texte encadré, associer, sur le document 1 (ci-dessus) à chaque signal observé sur le sismographe, le type d'ondes détectées (ondes S ou ondes P). Justifier.

2- Relever, sur ce document, les dates d'arrivée des ondes S et P à la station d'enregistrement notées respectivement t_S et t_P.

3- Soit d la distance qui sépare la station d'enregistrement du lieu où le séisme s'est produit.

Exprimer la célérité notée v_S des ondes S en fonction de la distance d parcourue et des dates t_S et t_0.

4- Retrouver l'expression de la distance d : $d = \frac{v_S . v_P}{v_P - v_S}(t_S - t_P)$

5- En déduire la valeur numérique de cette distance d.

6- A quelle heure s'est produit le séisme?

Solution

1- Ce sont les ondes P qui sont les plus rapides.

2- $t_P = 18h31\min 15s$

et: $t_S = 18h31\min 20s$

3- La distance d séparant la source où s'est produit le séisme et la station de détection s'exprime:

- pour l'onde primaire:

$$d = V_P.\Delta t_P = V_P(t_P - t_0)$$

- et pour l'onde secondaire:

$$d = V_S.\Delta t_S = V_S(t_S - t_0)$$

4- Ces deux dernières expressions permettent d'écrire:

$$t_0 = t_P - \frac{d}{V_P} \text{ et } t_0 = t_S - \frac{d}{V_S};$$

par identification on a: $t_P - \frac{d}{V_P} = t_S - \frac{d}{V_S}$

$$d\left(\frac{1}{V_S} - \frac{1}{V_P}\right) = t_S - t_P$$

$$\frac{V_P - V_S}{V_S.V_P} = t_S - t_P$$

$$d = \frac{V_P.V_S}{V_S - V_P}.(t_S - t_P)$$

5- $d = \frac{3,5.6,0.10^3}{6,0 - 3,5}.5 = 42.10^3 m = 42km$

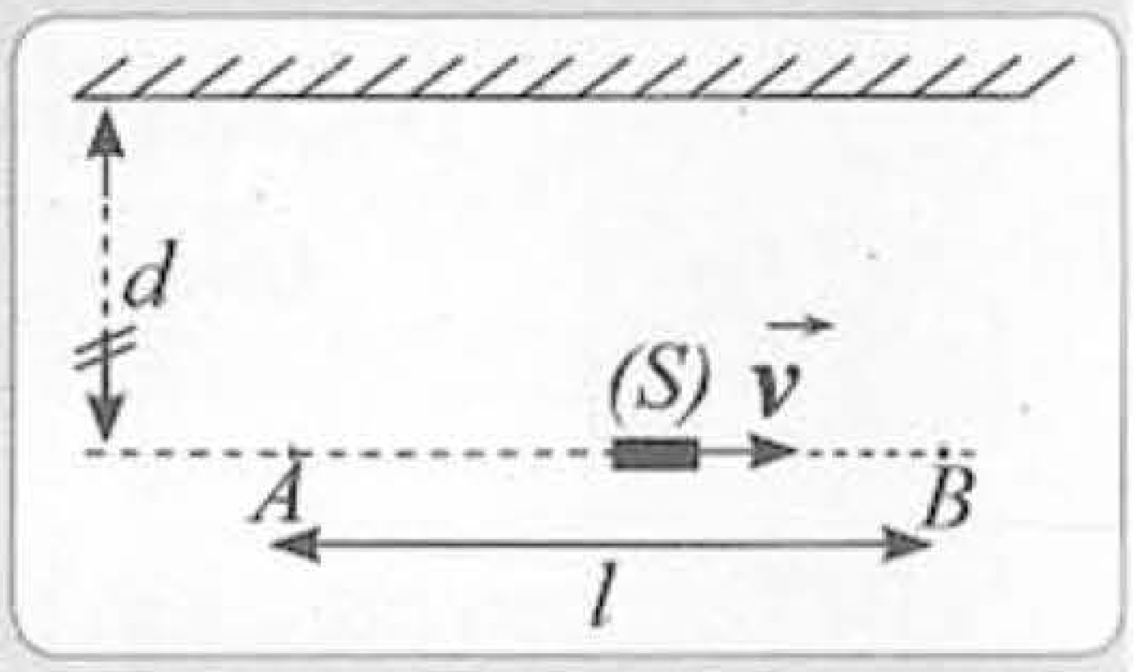
6- $t_0 = t_P - \frac{d}{V_P} = 18h31\min 15s - \frac{42.10^3}{6.10^3}$

$$= 18h31\min 15s - 7s$$

$$= 18h31\min 8s$$

14 Une source sonore (S) se déplace à vitesse constante $V = 8,5m.s^{-1}$ parallèlement à un mur qui lui est distant de $d = 20m$.

Au point A, cette source émet un signal sonore vers le mur, ce signal se réfléchit sur le mur et revient à la source au moment où celle - ci passe par le point B.



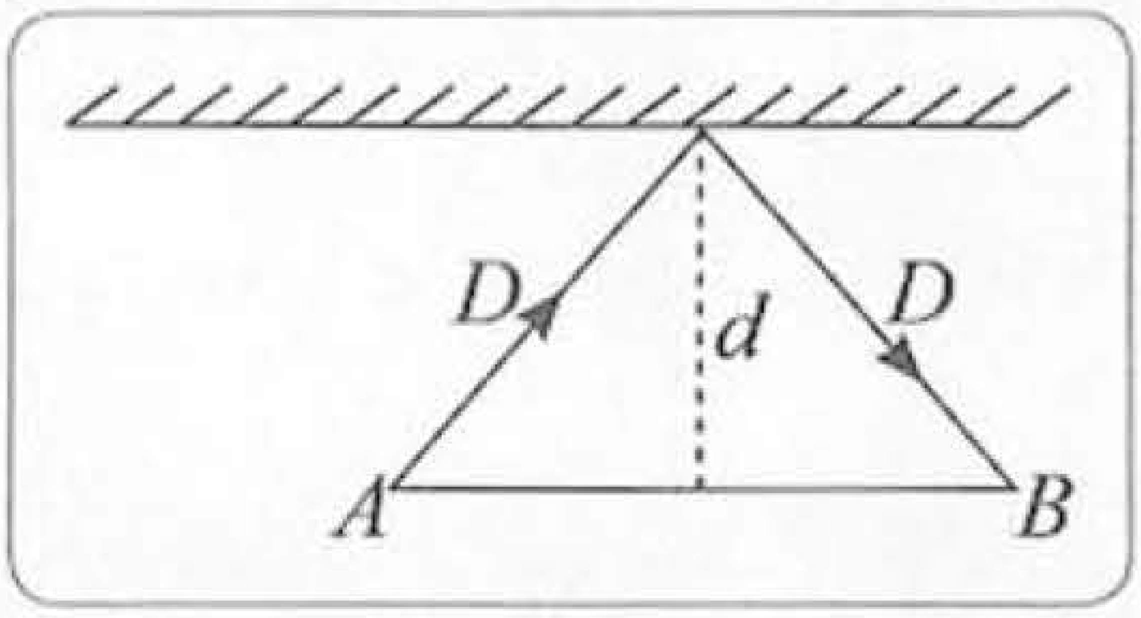
On donne: $AB = \ell = 1m$.

1- Exprimer la vitesse V_a du signal sonore dans l'air en fonction de V, d et ℓ.

2- Calculer sa valeur.

Solution

1- Pendant la durée $\Delta t = t_B - t_A$:



- le son parcourt la distance $2D = V_a.\Delta t$
- et, la source parcourt la distance: $\ell = V.\Delta t$

En combinant ces deux expressions, il vient: $\frac{2D}{V_a} = \frac{\ell}{V}$; alors: $\frac{V_a}{V} = \frac{2D}{\ell}$;

or $D = \sqrt{\left(\frac{\ell}{2}\right)^2 + d^2}$

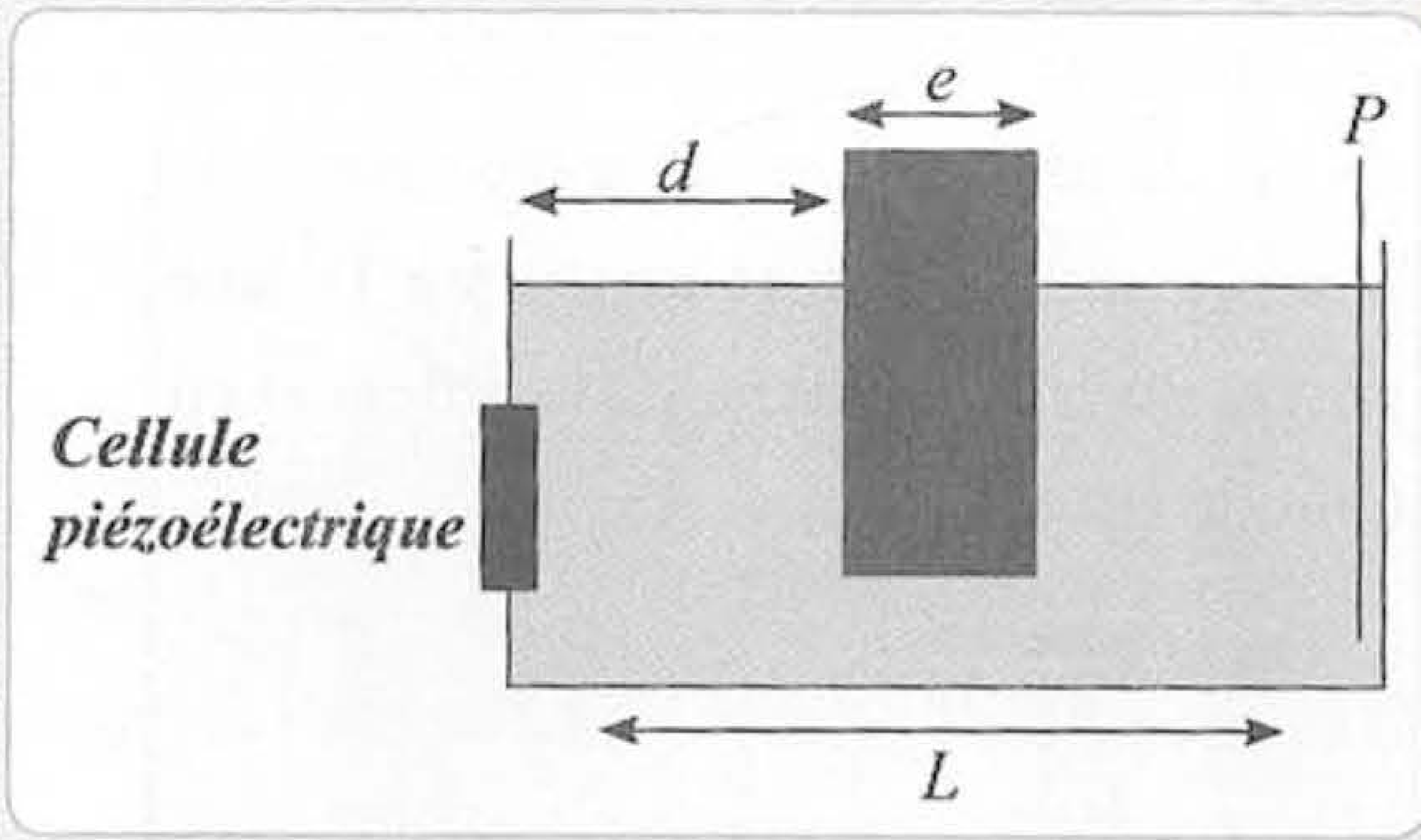
donc :

$$V_a = \frac{2V}{\ell}.\sqrt{\left(\frac{\ell}{2}\right)^2 + d^2} = V\sqrt{1 + \left(\frac{2d}{\ell}\right)^2}$$

2- $V_a = 8,5\sqrt{1 + \left(\frac{2.20}{1}\right)^2} \simeq 340m.s^{-1}$

15 **Echographie:**

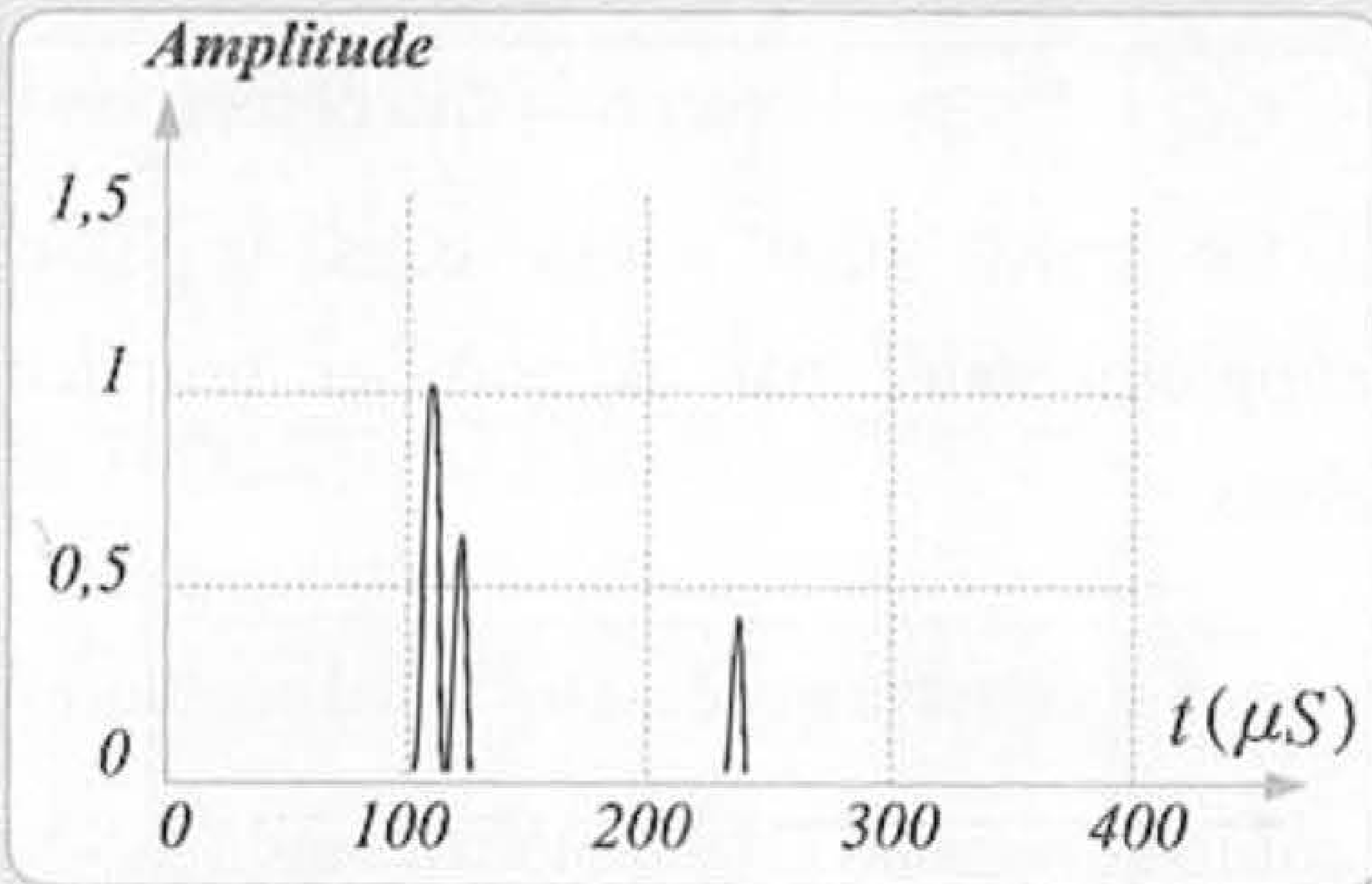
Une cellule piézoélectrique émet et reçoit des impulsions sonores se propageant dans une cuve remplie d'eau. Une plaque P, placée à l'autre extrémité de la cuve, réfléchit parfaitement les ondes ultrasonores, dont la célérité est $v_1 = 1540 m.s^{-1}$.



1- Quelle est la nature physique de la perturbation?

2- L'émetteur envoie une impulsion ultrasonore et reçoit un écho après une durée $t_1 = 260 \mu s$.

Exprimer la largeur L de la cuve en fonction de v_1 et t_1.



3- On place dans la cuve un bloc parallélépipédique d'épaisseur e. La célérité des ondes ultrasonores dans le métal est c_2. L'émetteur envoie une impulsion à $t = 0$ afin de déterminer l'épaisseur du bloc, puis reçoit trois échos en t_2, t_3 et t_4.

Sur le graphe on mesure $t_2 = 104 \mu s$, $t_3 = 116 \mu s$ et $t_4 = 233 \mu s$.

A quoi correspond chacun de ces trois échos?

4- Exprimer t_2 en fonction de d et v_1. En déduire la valeur numérique de d.

5- Exprimer t_3 en fonction de t_2, v_2 et e, puis t_4 en fonction de t_1, e, v_1 et v_2.

6- En déduire l'expression $e = \dfrac{v_1(t_1 - t_2 + t_3 - t_4)}{2}$. Calculer numériquement e.

7- Calculer la valeur de la célérité v_2.

Solution

1- La propagation de l'onde ultrasonore est associée à une alternance de compressions et de dilatations du milieu de propagation.

2- On a: $L = \frac{1}{2} v_1 t_1$, soit $L = 20 cm$.

Il ne faut pas oublier que le délai t_1, correspond à un aller - retour sur la distance L d'où le coefficient $\frac{1}{2}$ utilisé dans la relation entre L, v_1 et t_1.

3- Le premier écho correspond à la réflexion de l'onde ultrasonore sur la face avant du bloc; le second à la réflexion sur la face arrière du bloc; le dernier à la réflexion en bout de cuve.

4- On a: $t_2 = \frac{2d}{v_1}$,

soit $d = \frac{1}{2} v_1 t_2 = 8cm$.

5- On peut écrire que:

$t_3 = t_2 + \frac{2e}{v_2}$ car le second écho correspond à un trajet aller retour dans le bloc supplémentaire par rapport au premier écho.

Par ailleurs,

$$t_4 = \frac{2(L-e)}{v_1} + \frac{2e}{v_2} = t_1 + 2e\left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right).$$

6- Comme $t_3 = t_2 + \frac{2e}{v_2}$, on a:

$$t_4 = t_1 + t_3 - t_2 - \frac{2e}{v_1},$$

soit $e = \frac{v_1(t_1 - t_2 + t_3 - t_4)}{2}$

L'application numérique donne: $e = 3cm$.

7- On a montré que $t_3 = t_2 + \frac{2e}{v_2}$, soit:

$$v_2 = \frac{2e}{t_3 - t_2} = 5000 m.s^{-1}$$

16 Le courant nécessaire à l'alimentation de la motrice d'un TGV est amené par un câble horizontal (la caténaire) tendu au-dessus du train, et prélevé par un bras articulé (le pantographe) situé sur le toit de la motrice. Le pantographe soulève localement le câble, donnant ainsi naissance à des ondes transversales et unidimensionnelles.

1- La caténaire est constituée d'un câble de cuivre d'une section de $1500mm^2$. La densité du cuivre est de 8,9.

Vérifier que la masse linéique du câble est $\mu = 1,33 kg.m^{-1}$.

2- la célérité des ondes mécaniques le long du câble est $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, où T est la tension du câble et μ sa masse linéique. La tension du câble est de 2600 décanewtons. Calculer la célérité v des ondes (en $km.h^{-1}$).

3- L'amplitude de la déformation du câble augmente de façon importante lorsque la vitesse du train s'approche de la célérité des ondes. Le soulèvement de la caténaire perturbe alors le captage du courant, ce qui peut entraîner la disjonction du moteur, ou des avaries sur les installations. La compagnie impose à la vitesse du TGV de ne pas excéder 70% de la célérité des ondes. Calculer la vitesse maximale d'un TGV dans ces conditions.

4- Pour franchir la barre des $500km.h^{-1}$, il faut augmenter la célérité des ondes. Proposer deux méthodes.

5- On remplace le cuivre par du cadmium, de densité 8,65. Calculer la section du câble (en mm^2) pour obtenir la célérité $v = 532km.h^{-1}$ sans modifier la tension du câble.

6- La solution précédente étant trop lourde à mettre en œuvre (emplacement de la caténaire), on choisit d'augmenter la tension du câble.

Quelle doit être sa valeur pour avoir $v = 532km.h^{-1}$?

Solution

1- La section du câble est:

$s = 150.10^{-6}m^2$.

L'unité de longueur a donc pour volume

$s \times 1 = 150.10^{-6}m^3$.

La densité du cuivre étant de 8,9, sa masse volumique vaut donc $8900km.m^{-3}$.

La masse d'une unité de longueur du câble est donc:

$\mu = 150.10^{-6} \times 8900 = 1,33kg$.

2- Pour $T = 26000N$ et $\mu = 1,33kg.m^{-1}$, on obtient $v = 140m.s^{-1}$, soit $503km.h^{-1}$.

3- La vitesse maximale du TGV est:

$0,7 \times 503 = 352km.h^{-1}$.

4- Comme $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, pour augmenter v, on peut:

- augmenter la tension T du câble;
- diminuer la masse linéique μ du câble.

5- On a: $T = 26000N$, et on veut:

$v = 532km.h^{-1} = 148m.s^{-1}$.

Il faut donc $\mu = 1,19kg.m^{-1}$.

La masse volumique du câble est $1000d$.

La masse de la longueur unité, de section s, est alors: $\mu \times 1 = 1000d \times s \times 1$.

On a donc:

$$s = \frac{\mu}{1000d}$$

$s = 0,138.10^{-3}m^2 = 138mm^2$

6- on veut atteindre la célérité:

$v = 532km.h^{-1} = 148m.s^{-1}$.

La tension à utiliser est:

$T = \mu.v^2 = 1,33 \times 148^2 = 29100N$

1 On produit une onde sonore en utilisant un haut-parleur émettant un son de fréquence $N = 4,0kHz$.

La mesure de la longueur d'onde a donné $\lambda = 8,25cm$.

1- Donner la définition de la longueur d'onde λ.

2- Quelle est la valeur de la vitesse du son dans l'air?

3- Le haut-parleur émet le même son dans un gaz autre que l'air. Parmi les grandeurs: fréquence, vitesse du son, longueur d'onde, lesquelles vont se trouver modifiées?

Solution

1- La longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde pendant une période, ou encore la distance séparant deux compressions successives.

2- D'après cette définition on a:

$$\lambda = V.T = \frac{V}{N};$$

D'où:

$$V = \lambda.N = 8,25.10^{-2}.4.10^{3} = 330m.s^{-1}$$

3- A priori, il n'y a pas de raison pour que la vitesse du son dans ce nouveau gaz soit la même que dans l'air. La vitesse du son est une caractéristique physique intrinsèque au gaz. En revanche, la fréquence est, elle, est imposée par le haut-parleur, qui envoie, du fait des vibrations de sa membrane à $4KHz$ des ondes sonores dans le gaz qui ont nécessairement cette fréquence. Enfin, puisque la vitesse du son est différente et que la fréquence est la même, on déduit, des formules de la question précédente, que la longueur d'onde est différente dans ce nouveau gaz.

2 L'homme est sensible aux sons dont les fréquences varient entre $100Hz$ et $20kHz$. La célérité des ondes sonores dans l'air est $v = 340m.s^{-1}$.

Donner l'ordre de grandeur des dimensions des ouvertures ou des obstacles qui sont diffractés ces ondes.

Solution

A la fréquence $f_1 = 100Hz$ (sons graves) correspond la longueur d'onde

$$\lambda_1 = \frac{v}{f_1} = \frac{340}{100} = 3,4m$$

A la fréquence $f_2 = 20kHz$ (sons aigus) correspond la longueur d'onde:

$$\lambda_2 = \frac{v}{f_2} = \frac{340}{20000} = 1,7cm$$

Les sons graves seront donc diffractés par des ouvertures ou des obstacles dont les dimensions sont inférieures ou égales à quelques mètres. Les sons aigus seront diffractés par des ouvertures ou des obstacles dont les dimensions sont inférieures ou égales à quelques centimètres.

3 Une corde de piano a une longueur $l = 42cm$ et une masse linéique $\mu = 6,2g.m^{-1}$

La corde vibre sinusoïdalement avec une longueur d'onde $\lambda = 2\ell$.

La célérité des ondes transversales est $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$; où T est la tension de la corde.

1- Calculer la fréquence de l'onde pour une tension $T = 900N$.

2- Le piano est désaccordé. Pour obtenir un «la» de fréquence $f = 440Hz$, faut-il augmenter ou diminuer la tension de la corde?

3- Calculer la nouvelle tension de la corde.

Solution

1- La célérité des ondes transversales étant donnée par $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, la fréquence de l'onde s'exprime par:

$$f = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{\mu}} \qquad (1)$$

$$f = \frac{1}{0,84}\sqrt{\frac{900}{6,2.10^{-3}}} = 454Hz$$

2- D'après la formule établie à la question précédente, la fréquence de l'onde augmente quand la tension de la corde augmente. On veut une fréquence plus basse, il faut donc diminuer la tension de la corde.

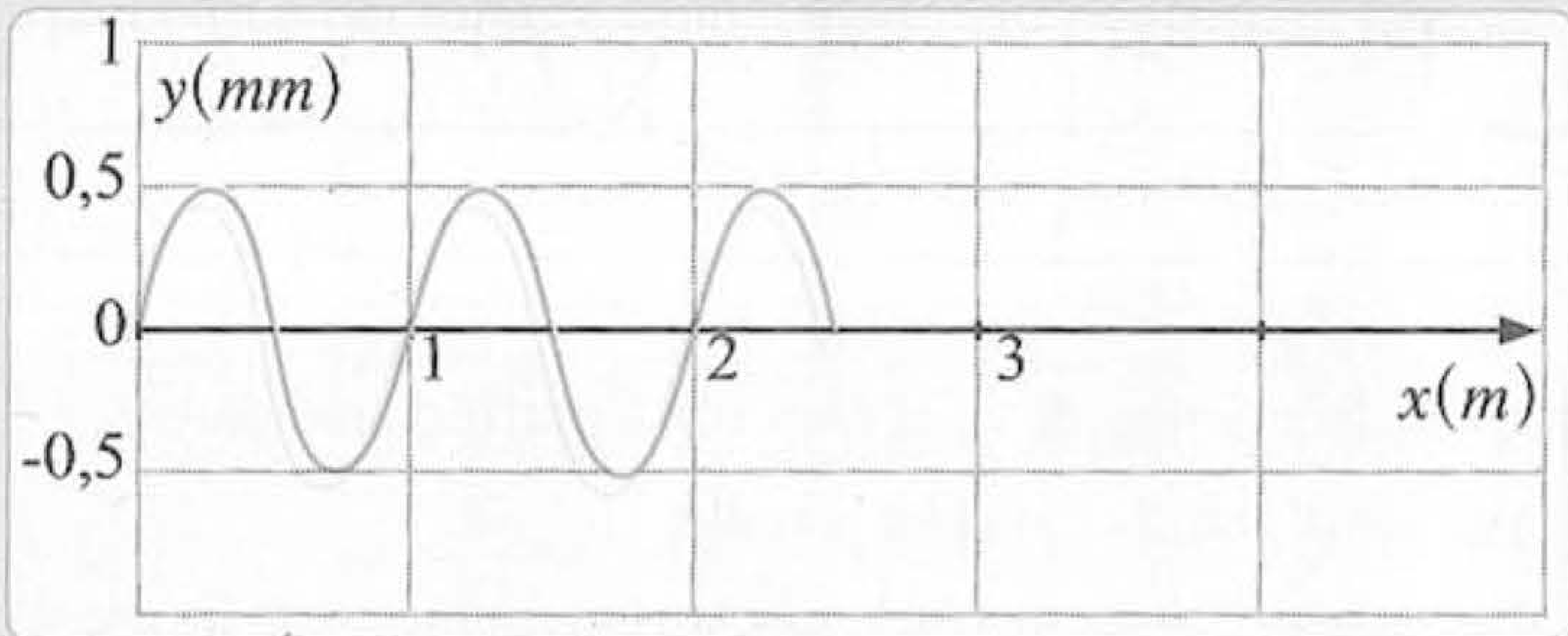
3- La relation (1) permet d'obtenir:

$$T = \mu f^2 \lambda^2 T$$

$$T = 6,2.10^{-3} \times 440^2 \times 0,84^2$$

$$T = 847N$$

4 Un vibreur est relié à l'extrémité S d'une corde. A l'instant $t = 0$, le vibreur est mis en mouvement. L'aspect de la corde au bout d'un temps de $200ms$ est représenté ci-dessous, l'origine des abscisses $x = 0$ correspond à la position de l'extrémité S.



1- Déterminer pour cette onde, la période spatiale et la période temporelle.

2- Calculer la célérité de cette onde.

3- A l'instant $t = 0$ le vibreur commence-t-il à vibrer vers le haut ou vers le bas? Justifier.

4- Représenter la courbe de $y = f(t)$, pour le point M d'abscisse $x = 3m$.

Solution

1- La fonction $y = f(x)$ admet pour période λ :

$\lambda = 1m$

Pendant la durée $\Delta t = 200ms$, déparant l'instant de départ de l'onde de la source et son arrivée au point (front de l'onde), la distance parcourue par l'onde est :

$$d = V.\Delta t \quad (1)$$

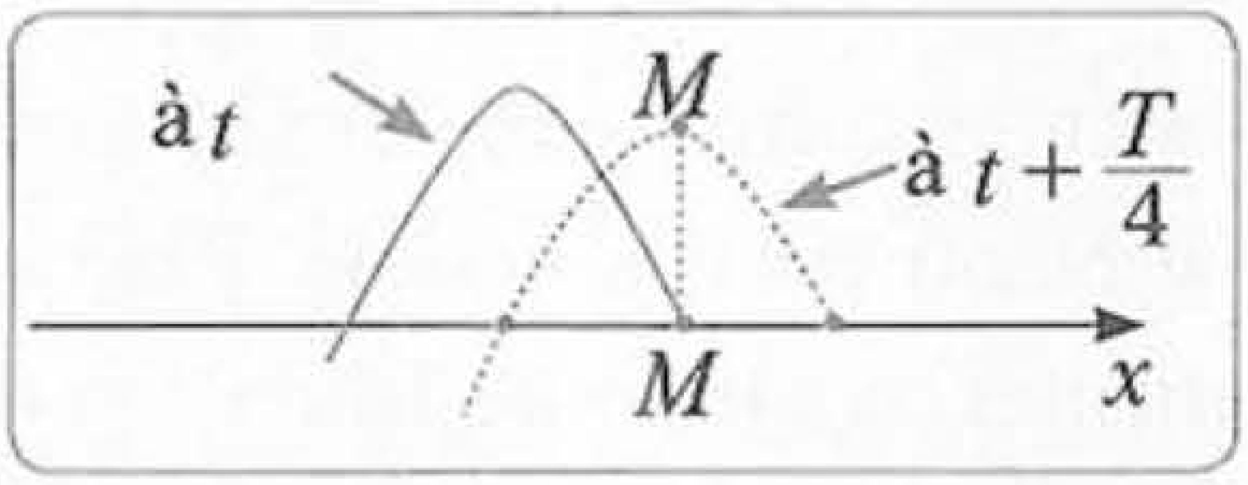
$$\text{or } \lambda = V.T \quad (2)$$

$$\frac{(1)}{(2)} : \frac{\Delta t}{T} = \frac{d}{\lambda} = \frac{2,5\lambda}{\lambda} = 2,5$$

$$T = \frac{\Delta t}{2,5} = \frac{200}{2,5} = 80ms$$

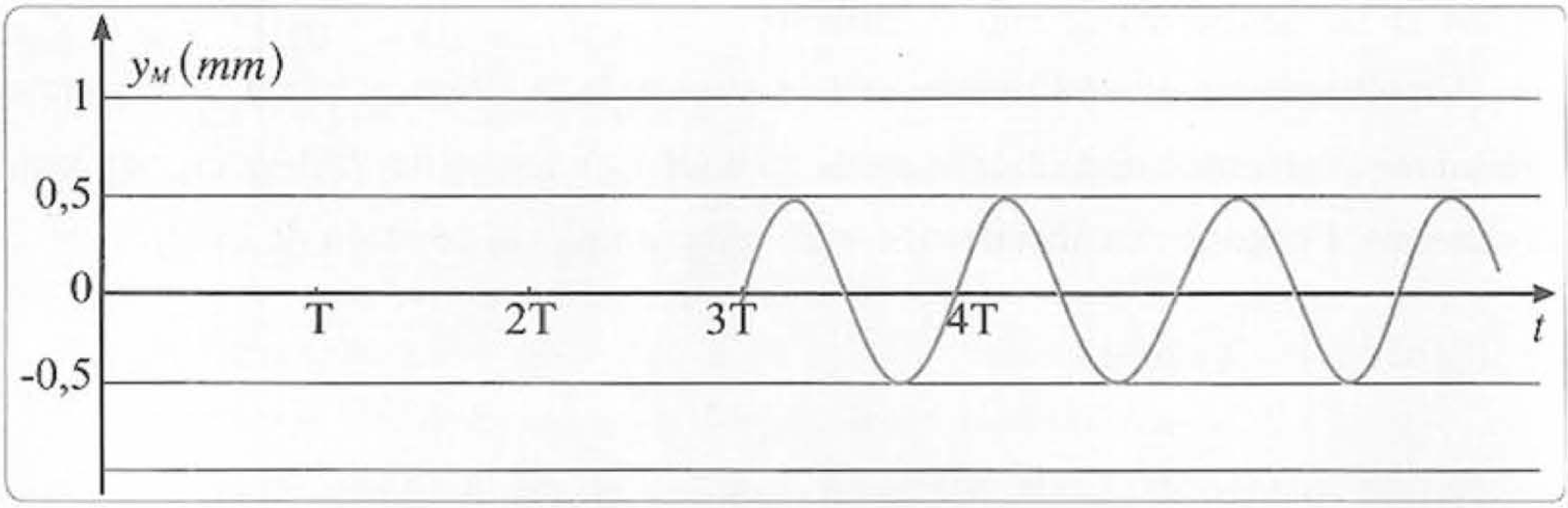
2- $V = \dfrac{\lambda}{T} = \dfrac{1}{80.10^{-3}} = 12,5 m.s^{-1}$

3- Faisons la translation de la courbe $y = f(x)$ de $\dfrac{\lambda}{4}$.



A la date t le point M vient de recevoir l'onde; et à $t+\dfrac{T}{4}$, ce point va se trouver au maximum y_{max} donc son mouvement s'effectue vers le haut. Et, puisque tout point reproduit le même mouvement effectué par la source; alors le vibreur a commencé à vibrer spour la première fois vers le haut.

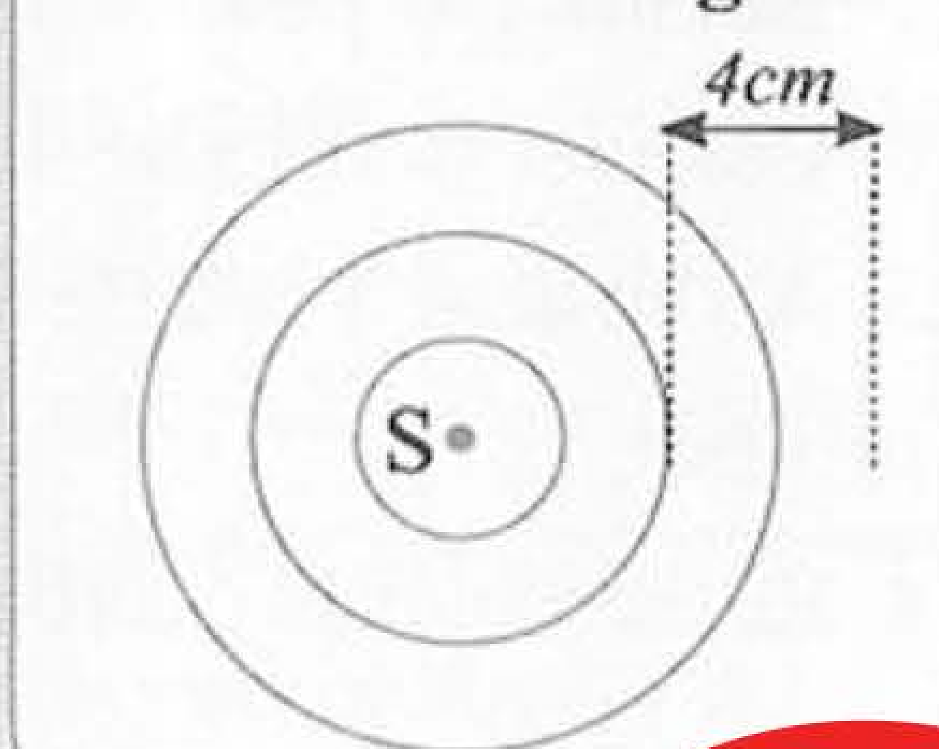
4- Le point M reproduit le même mouvement effectué par la source, mais avec un retard τ :



5 Un vibreur de fréquence $N = 20Hz$ crée à partir d'une date $t_0 = 0$, une onde au point S à la surface d'eau d'une cuve à onde.

A la date t_1, l'image de la surface d'eau est représentée sur figure 1, où les cercles représentent des crêtes.

Figure-1



1- Quel est le type de l'onde obtenue?

2- Déterminer sa longueur d'onde λ et en déduire la vitesse de propagation de cette onde.

3- Quelle est la valeur de la date t_1 ?

4- On considère deux points M et N de la surface d'eau, tels que:

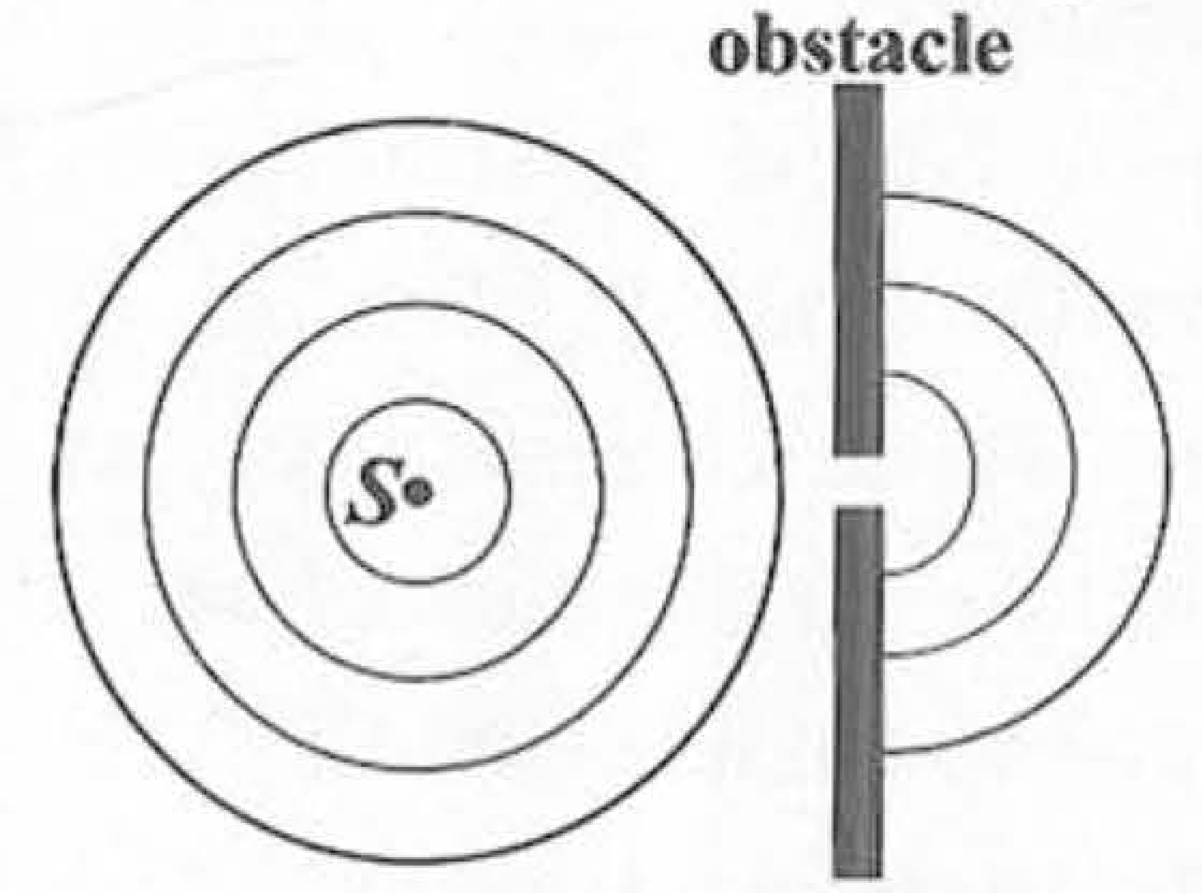
$SM = \frac{2}{3} SN = 10cm$

4.1- Lequel de ces deux points est en retard par rapport à l'autre?

4.2- Quelle est la valeur τ de ce retard horaire?

4.3- Comparer l'état vibratoire de ces deux points.

Figure-2



5- On place dans la cuve deux plaques verticales séparées par une ouverture de longueur d.

L'image de la surface d'eau à la même fréquence $20Hz$ est représentée sur la figure 2.

5.1- Quel phénomène met en évidence cette figure?

5.2- Quelle condition doit satisfaire la distance d pour avoir cette image?

Solution

1- L'onde obtenue à la surface d'eau est une onde mécanique progressive périodique, transversale dont les lignes d'ondes sont circulaires.

2- $\lambda = \frac{4cm}{2} = 2cm$

$v = \lambda N = 2.10^{-2}.20 = 0,4 m.s^{-1}$

3- La distance parcourue par le front d'onde entre: $t_0 = 0$ et t_1 est $d = 3\lambda = 6cm$.

$d = v.(t_1 - t_0) = v.t_1$

$t_1 = \frac{d}{V} = \frac{6.10^{-2}}{0,2} = 0,3s$

4.1- On remarque que N est situé après M: $SM = 10cm$ et $SN = \frac{3.10}{2} = 15cm$; N est en retard par rapport à M.

4.2- $MN = SN - SM = 15 - 10 = 5cm$

$$\tau = \frac{MN}{V} = \frac{5.10^{-2}}{0,4} = 0,125s$$

4.3- $\frac{MN}{\lambda} = \frac{5}{2} = 2,5$; $MN = \frac{5}{2}\lambda$.

Les deux points M et N vibrent donc en opposition de phase.

On peut également utiliser le rapport $\frac{\tau}{T}$:

$\frac{\tau}{T} = \frac{0,125}{5.10^{-2}} = 2,5$

Donc: $\tau = \frac{5}{2}T$, c'est aussi la condition de vibration en opposition de phase.

5.1- La diffraction par une fente.

5.2- $d \leq \lambda$; $d \leq 2cm$.

6 Un haut-parleur (HP) alimenté par un générateur de basse fréquence (GBF); émet une onde sonore qui se propage dans l'air.

Cette onde passe devant deux microphones R_1 et R_2 alignés avec le haut-parleur et reliés à un oscilloscope bi-courbe (figure 1).

1- On donne à la distance d la valeur $d_1 = 41cm$.

La figure 2 donne les courbes visualisées.

La sensibilité horizontale de l'oscilloscope est $0,1ms/div$.

1.1- Faire correspondre, en justifiant chaque microphone à la courbe qui lui convient.

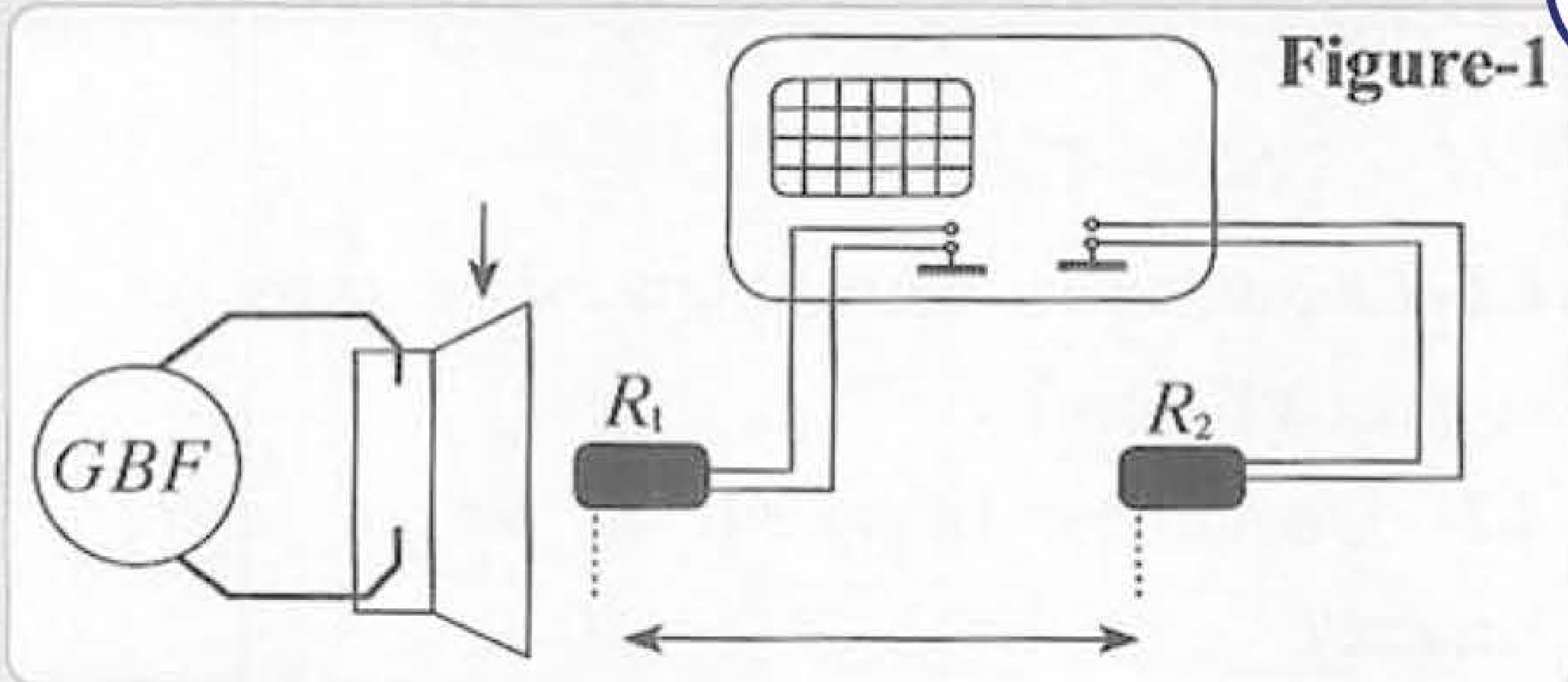


Figure-1

1.2- Déterminer la période T de l'onde étudiée.

2- On éloigne R_2 de R_1 (fixe) jusqu'à ce que les courbes deviennent à nouveau en phases, à ce moment on note $d = d_2 = 61,5cm$.

2.1- Déterminer la longueur de l'onde sonore étudiée.

2.2- Déterminer sa célérité V.

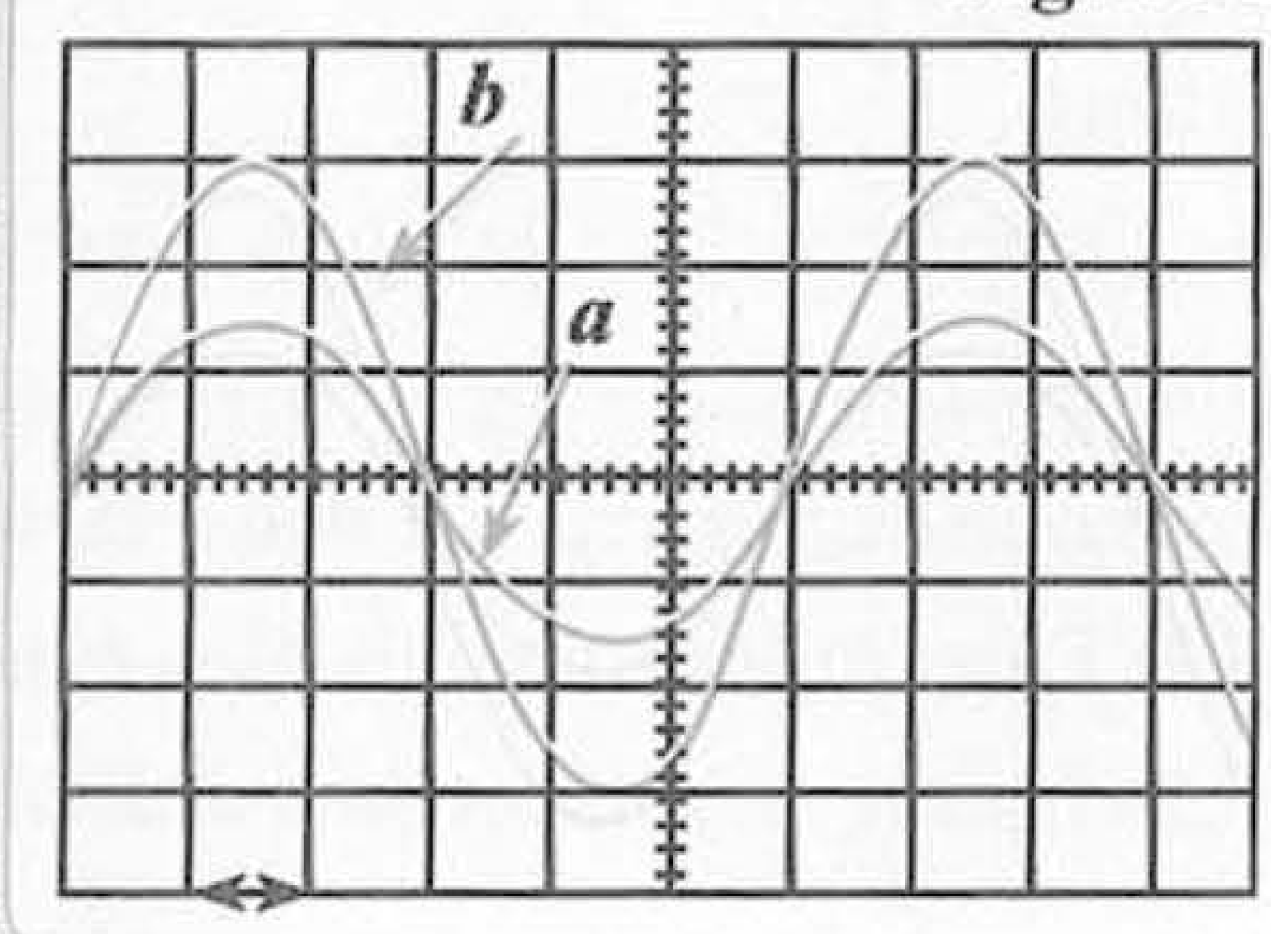


Figure-2

Solution

1.1- Le microphone R_2 est le plus éloigné de la source (HP), le son y parvient avec une intensité plus faible, il lui convient donc la courbe (a).

1.2- $T = 6div \cdot 0,1ms/div = 0,6ms = 6.10^{-4}s$

2.1- Lorsque $d = d_1$, les courbes sont en phase, alors $d_1 = k.\lambda$ (1)

La concordance de phases suivante correspond à $k' = k+1$ et elle est obtenue lorsque $d = d_2$; avec $d_2 = (k+1)\lambda$ (2)

D'où:

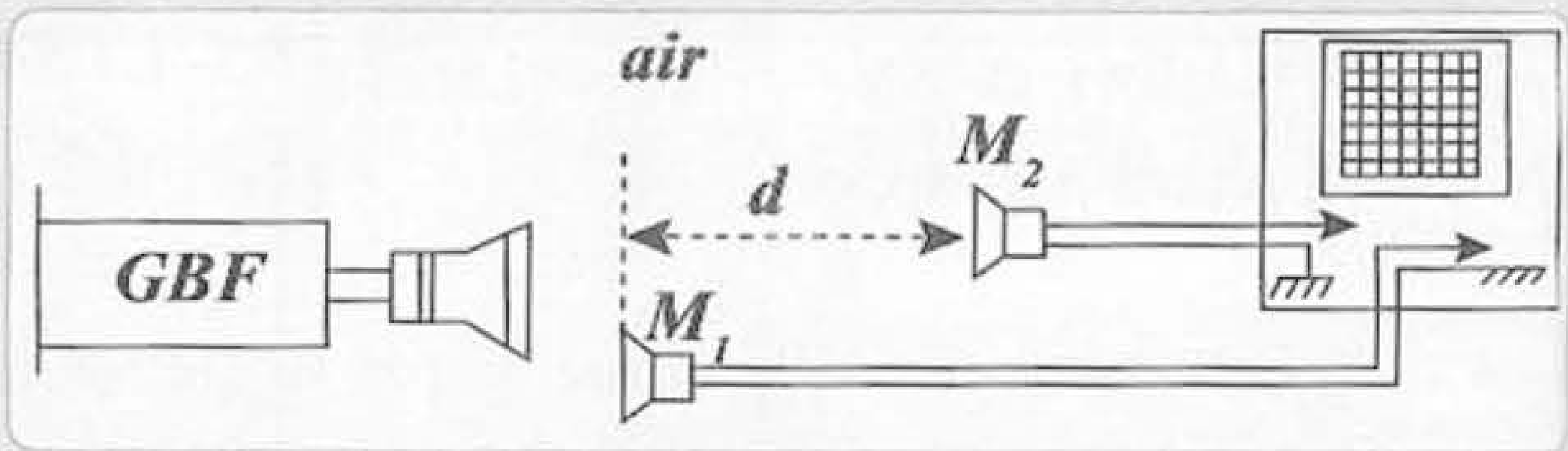
$$d_2 - d_1 = (k+1)\lambda - k\lambda = \lambda$$

$$\lambda = d_2 - d_1 = 61,5 - 41 = 20,5cm$$

2.2- $V = \dfrac{\lambda}{T} = \dfrac{20,5.10^{-2}}{6.10^{-4}} = 341,7m/s$.

7 Une onde sonore est produite par un haut-parleur alimenté par un générateur à haute fréquence; de valeur réglable.

Cette onde est captée par deux microphones M_1 et M_2 séparés par une distance $d = 1,7m$.



Lorsqu'on fixe la fréquence sur la valeur $N_1 = 1kHz$, on constate que les deux ondes reçues par M_1 et M_2 sont en phase.

A partir de la valeur N_1 on élève la fréquence du GBF lentement, on constate que les deux courbes se décalent et redeviennent en phase lorsque la fréquence est $N_2 = 1,2kHz$.

1- Montrer que la vitesse V de l'onde sonore s'exprime de la façon suivante: $V = (N_2 - N_1)d$.

2- Calculer V.

Solution

1- Les deux tranches d'air devant M_1 et M_2 vibrent en phases à N_1 et à N_2 alors: $d = k\lambda_1 = k.\frac{V}{N_1}$ et $d = k'.\frac{V}{N_2}$, d étant constante.

La condition $d = k\frac{V}{N}$ permet de constater que lorsque f augmente de N_1 à N_2, alors la valeur de k augmente en passant de k à $k' = k+1$.

$$d = k.\frac{V}{N_1} = (k+1)\frac{V}{N_1}$$

$$\frac{k}{N_1} = \frac{k+1}{N_2} = \frac{k}{N_2} + \frac{1}{N_2}$$

$$k\left(\frac{1}{N_1} - \frac{1}{N_2}\right) = \frac{1}{N_2} \;;\; k.\frac{(N_2 - N_1)}{N_1 N_2} = \frac{1}{N_2}$$

$$k = \frac{N_1}{N_2 - N_1}$$

Donc:

$$d = k.\frac{V}{N_1} = \frac{N_1}{N_2 - N_1}\cdot\frac{V}{N_1} = \frac{V}{N_2 - N_1}$$

$$V = d(N_2 - N_1)$$

2-

$$V = 1,7.10^{-2}.200 = 340m.s^{-1}.$$

8 1- Lorsque l'on augmente la fréquence d'une onde, à célérité fixée, on:

(a) augmente **(b) diminue**

sa longueur d'onde.

2- La célérité de la houle en plein océan est $v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$, où λ est la longueur d'onde et g l'accélération de la pesanteur. La propagation de la houle est:

(a) dispersive **(b) non dispersive**

3- Un milieu permet la propagation d'ondes avec la relation suivante entre longueur d'onde et période: $\lambda = \alpha.T^2$

où α est une constante. Ce milieu est-il dispersif?

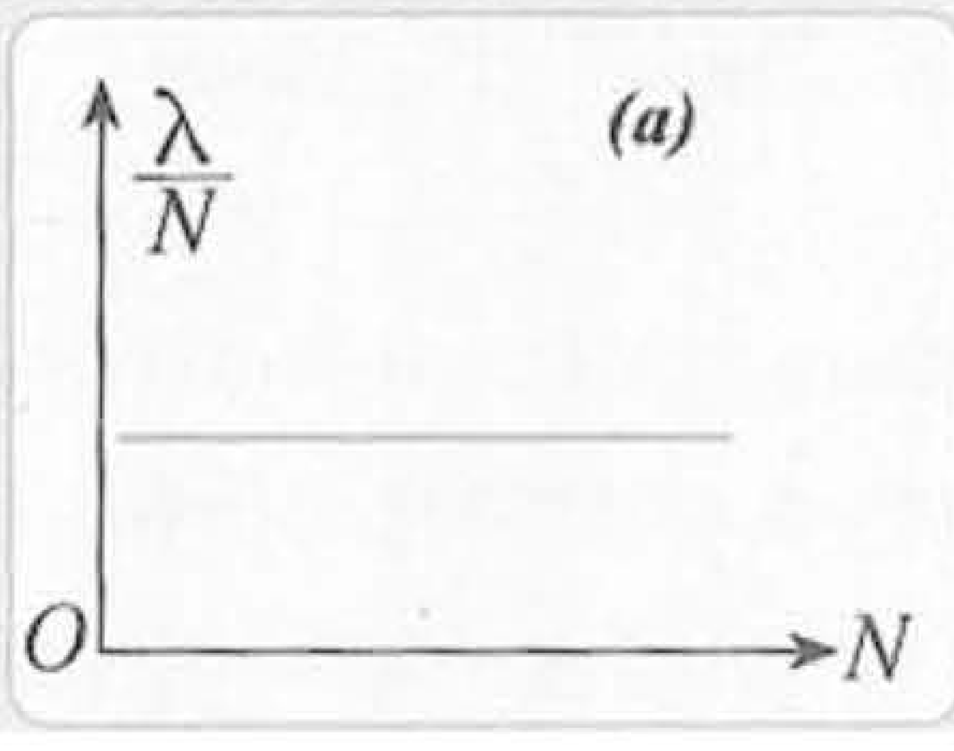
4- Un milieu permet la propagation d'ondes avec la relation suivante entre longueur d'onde et période: $\lambda = \alpha T$ où α est une constante. Ce milieu est-il dispersif?

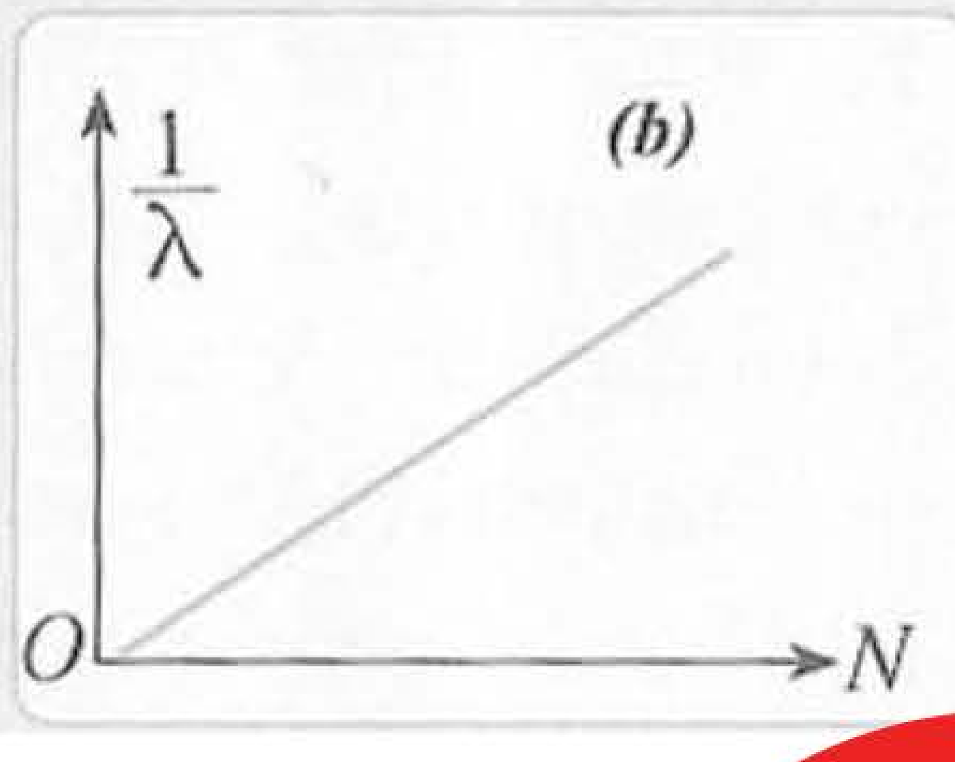
5- Pour diffracter une onde, il faut la faire passer par une ouverture plus

(a) petite **(b) grande**

que sa longueur d'onde.

6- Laquelle des deux figures suivantes correspond à un milieu dispersif?





Solution

1- Diminue. En effet on a:

$\lambda = V.T = \frac{V}{N}$; ($V = cte$; si $N \nearrow \rightarrow \lambda \searrow$)

2- Dispersive. En effet la célérité des ondes dépend de leur longueur d'onde (et donc de leur fréquence).

3- Dispersif. En effet la célérité de ces ondes est: $V = \frac{\lambda}{T} = \frac{\alpha T^2}{T} = \alpha.T$ qui dépend de la période de l'onde.

4- Non dispersive. En effet la célérité de ces ondes est: $V = \frac{\lambda}{T} = \alpha = cte$ qui ne dépend pas de la période de l'onde.

5- Petite. Si l'ouverture est plus grande que la longueur d'onde, l'onde n'est pas diffractée.

6- **Pour la figure (a)**: $\frac{\lambda}{N} = cte(\forall N)$;

donc: $\lambda = cte.N$

donc: $\lambda = \frac{V}{N} = cte.N$

d'où: $V = cte.N^2$

le milieu est donc dispersif car V varie lorsque N varie.

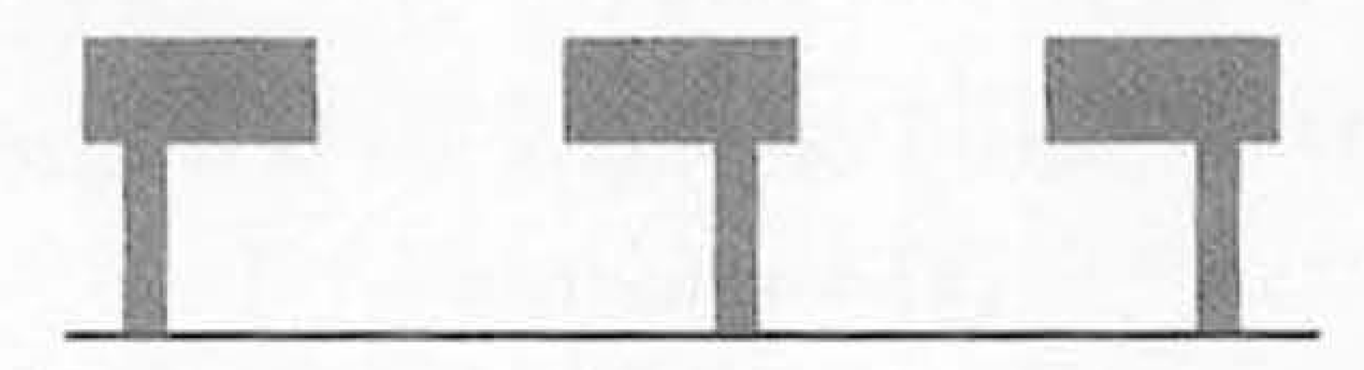
- Pour la figure (b): $\frac{1}{\lambda} = cte.N$

or $\lambda = \frac{V}{N}$, alors: $\frac{\cancel{N}}{V} = cte.\cancel{N}$

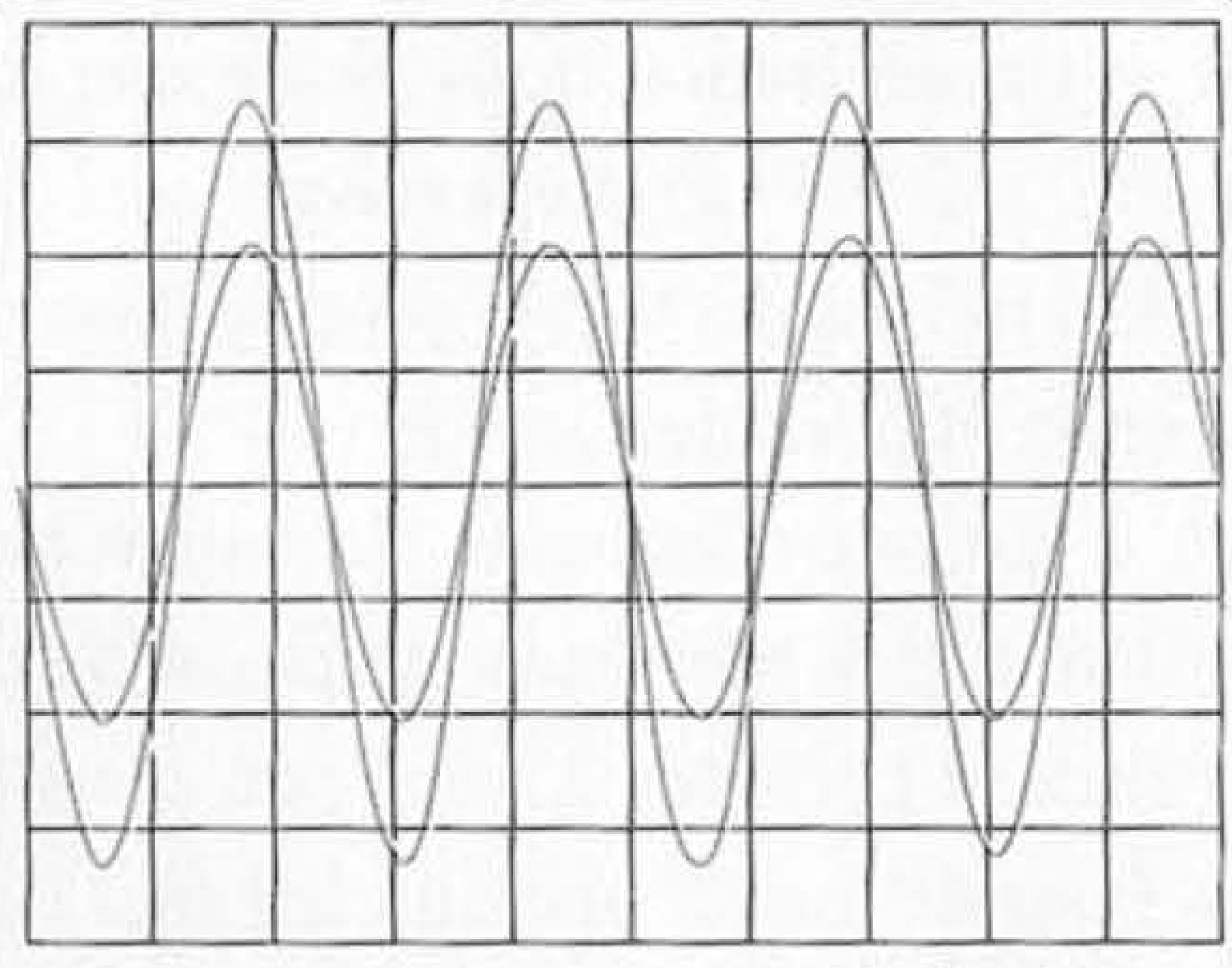
$\frac{1}{V} = cte$, V est constante.

Dans ce cas, le milieu est non dispersif.

9 Un émetteur ultrasonore et deux récepteurs R_1 et R_2 placés en M_1 et M_2 sont alignés. Les deux récepteurs sont reliés aux deux voies d'entrée 1 et 2 d'un oscillographe.



La plus petite distance M_1M_2 pour laquelle l'oscillogramme des tensions aux bornes des récepteurs à l'allure ci-contre vaut $8,5mm$



Echelle: base de temps: 10 μs/ division.

1.1- Identifier les deux oscillogrammes.

1.2- Quelle est la fréquence du signal ultrasonore?

1.3- Quelle est la valeur de sa longueur d'onde?

1.4- Calculer sa célérité.

2- Pour $M_1M_2 = 17mm$, puis $21,25mm$, représenter les oscillogrammes correspondants.

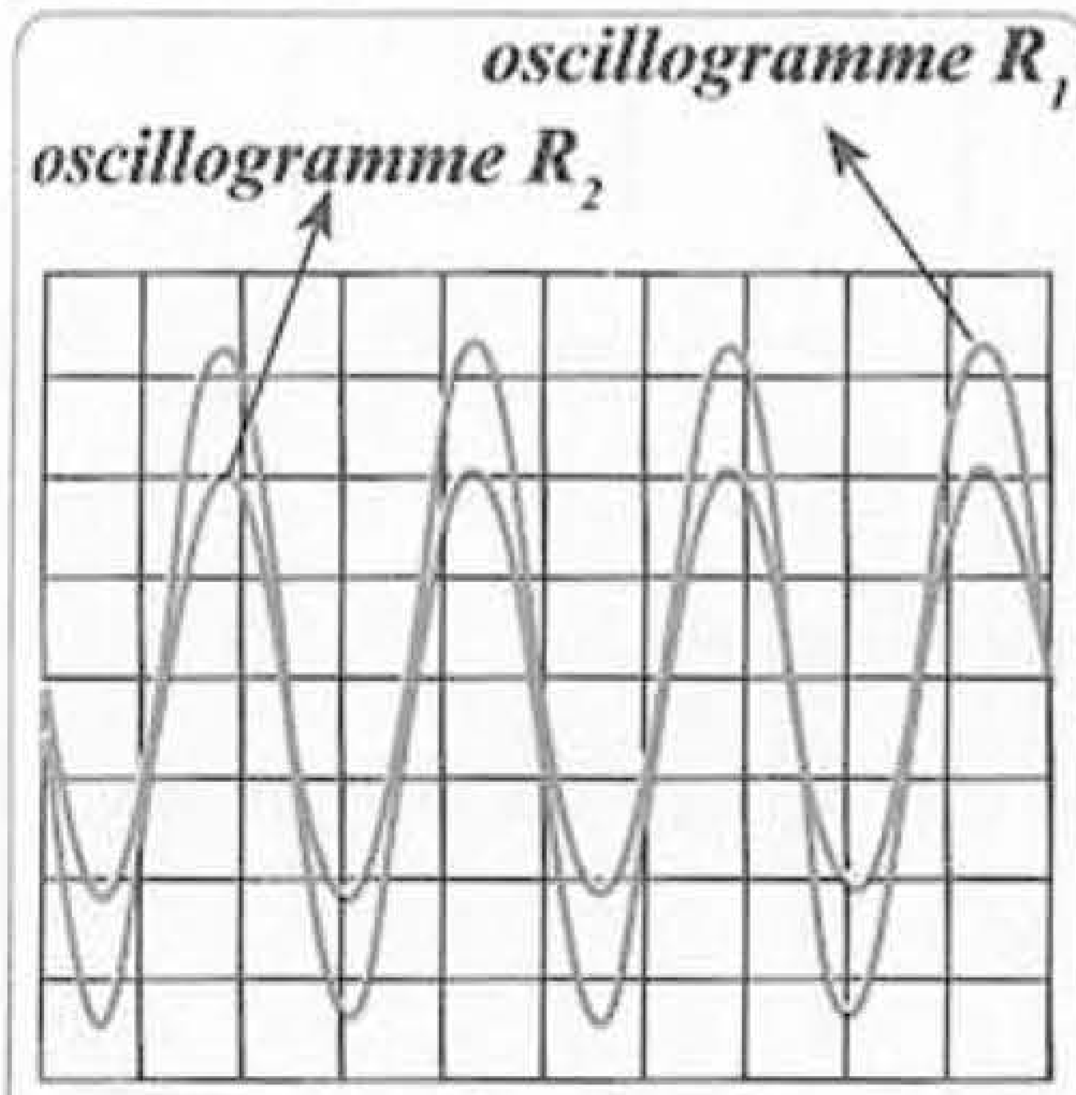
3- un télémètre, appareil permettant de mesurer une distance, comprend, entre autres, un émetteur d'ultrasons et un récepteur associé. Une horloge électronique intégrée au dispositif permet de déterminer la durée Δt nécessaire pour qu'un signal émis en direction d'un obstacle soit réfléchi par celui-ci, puis reçu par le récepteur.

3.1- Quelle relation existe-il entre d, distance émetteur-obstacle et Δt ?

3.2- La plus petite variation de durée détectable vaut $0,10ms$. En déduire la plus petite variation de distance mesurable.

Solution

1.1- Le récepteur R_2 étant plus éloigné, il reçoit une puissance inférieure à celle reçue par R_1. L'amplitude de la tension aux bornes du récepteur R_2 est donc la plus faible.



Identification des oscillogrammes.

1.2- D'après la représentation graphique, la période vaut $2,5.10^{-5}s$. On en déduit la fréquence:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,5.10^{-5}} = 40.10^3 Hz = 40kHz$$

1.3- La distance $M_1M_2 = 8,5mm$ est la plus petite distance séparant deux points vibrant en phase: ils sont séparés par une longueur d'onde $\lambda = 8,5mm$.

1.4- $\lambda = \frac{V}{f}$, donc:

$$V = \lambda.f = 8,5.10^{-3} \times 40.10^3 \cdot$$
$$= 3,4.10^2 m.s^{-1}$$

2- Deux points séparés par une distance de $17mm$ sont éloignés de 2λ. Ils vibrent en phase. L'oscillogramme est donc identique au premier.

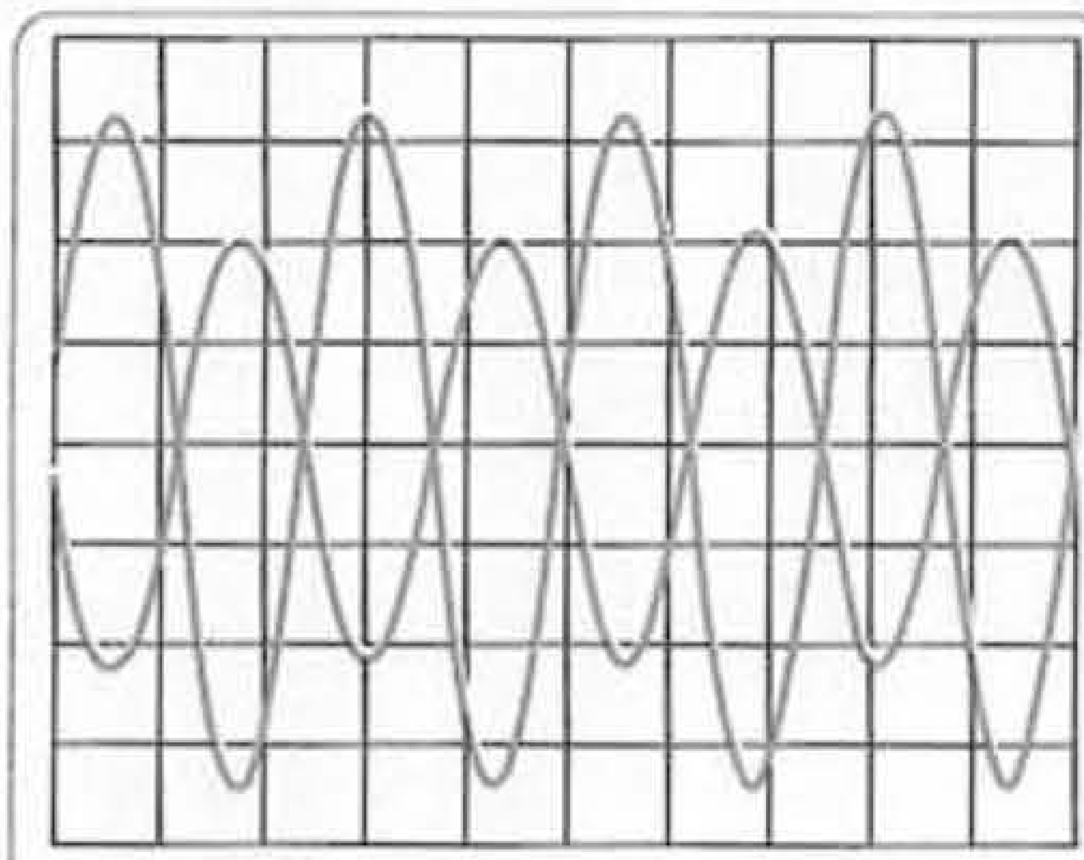
Deux points séparés par une distance de $21,25mm$ sont éloignés de $\frac{5}{2}\lambda$.

Ils vibrent en opposition de phase.

3.1- L'onde ultrasonore a parcouru la distance $2d$ au cours d'une durée Δt, d'où: $2d = V.\Delta t$

3.2- La plus petite variation de distance détectable vaut:

$$d_m = \frac{V.\Delta t}{2} = \frac{3,4.10^2 \times 0,10.10^{-3}}{2}$$
$$= 1,7.10^{-2}m = 1,7cm$$

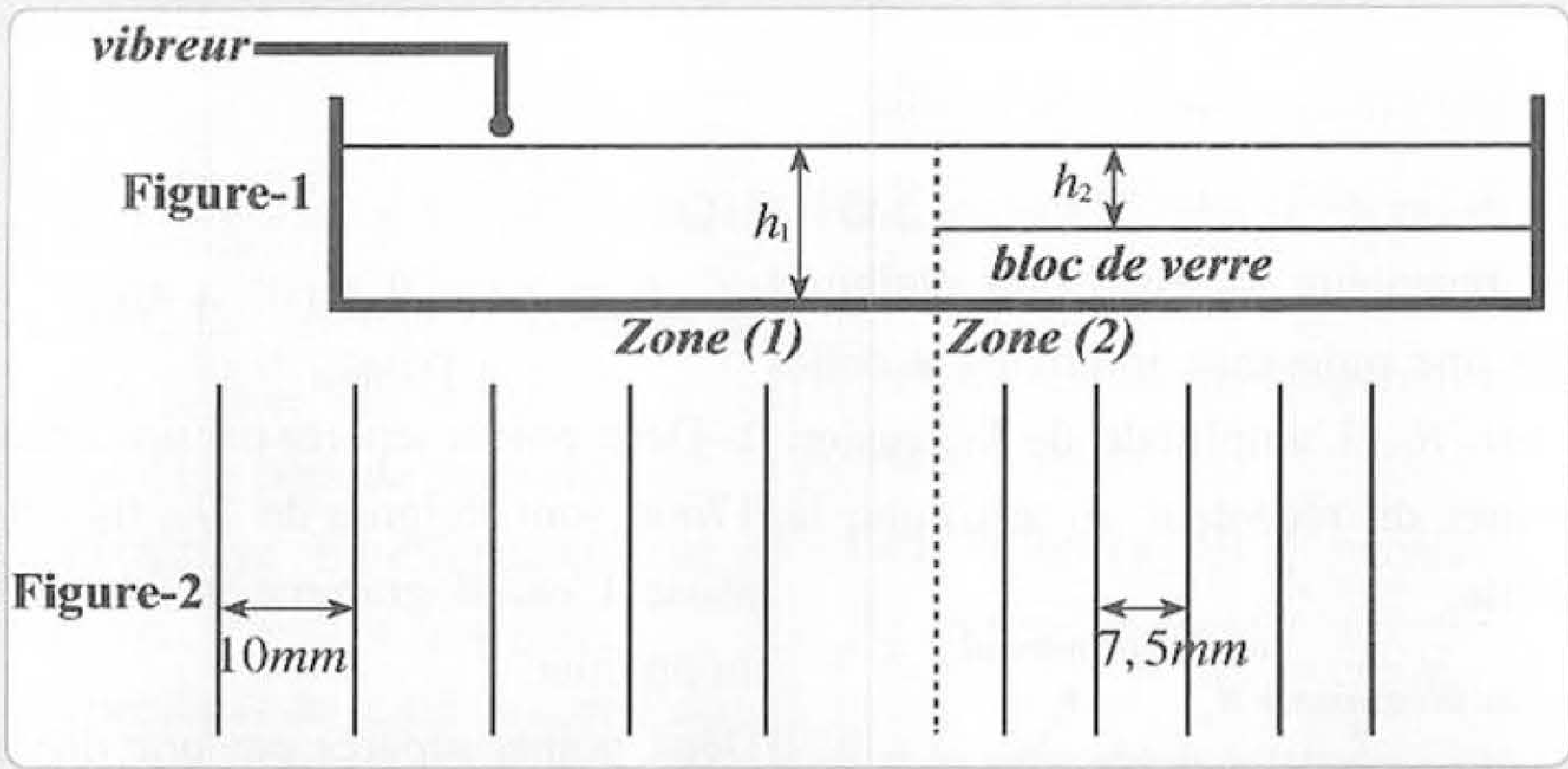


Oscillogrammes pour les points distants de 21,25mm.

10 A l'aide du montage de la cuve à ondes, on produit à la surface de l'eau; une onde sinusoïdale.

1- Dans une première expérience, on place au fond de la cuve remplie d'eau, un bloc de verre pour créer deux zones de propagation (fig-1).

La figure 2 représente les lignes de crêtes à la surface de l'eau, obtenues pour une fréquence $f = 24Hz$.



1.1- En vous aidant de la figure 2, déterminer la vitesse de propagation de l'onde dans chacune des deux zones.

1.2- Quelle conclusion pouvez-vous tirer de cette expérience?

2- on retire le bloc de verre et on utilise maintenant un vibreur de fréquence variable. On mesure λ pour chaque valeur de la fréquence f.

$f(Hz)$	12	24	48
$\lambda(m)$	0,018	0,0097	0,0059

2.1- Calculer la célérité V de l'onde pour chacune de ces fréquences.

2.2- Que peut-on conclure de cette deuxième expérience?

Solution

1.1- $\lambda_1 = 10mm = 10^{-2}m$ et

$\lambda_2 = 7,5.10^{-3}m$

$V_1 = \frac{\lambda_1}{T} = \lambda_1.f = 10^{-2}.24 = 24cm/s$

$V_2 = \lambda_2.f = 7,5.10^{-3}.24 = 18cm/s$

1.2- La vitesse de propagation d'une onde à la surface de l'eau dépend de la profondeur de l'eau ($V \nearrow si\ f \nearrow$).

2.1-

$V_1 = \lambda_1.f_1 = 0,018.12 = 0,216m.s^{-1}$

$V_2 = \lambda_2.f_2 = 0,097.24 \simeq 0,233m.s^{-1}$

$V_3 = \lambda_3.f_3 = 0,0059.48 \simeq 0,283m.s^{-1}$

Dans un même milieu (l'eau); se trouvant dans les mêmes conditions (même profondeur); on constate que la vitesse de propagation varie avec la fréquence de l'onde, c'est le phénomène de dispersion.

2.2- La surface de l'eau; dans la cuve à ondes; est un milieu dispersif pour l'onde utilisée.

11 Les ondes ultrasonores sont des ondes mécaniques qui peuvent se propager dans les liquides avec une vitesse qui dépend de la nature du liquide et de la vitesse de son écoulement.

L'objectif de cet exercice est de déterminer la vitesse d'écoulement de l'eau dans une conduite.

1- Propagation d'une onde ultrasonore:

Une onde ultrasonore de fréquence $N = 50kHz$ se propage dans une eau calme avec une vitesse $v_0 = 1500ms^{-1}$.

1.1- Calculer la longueur d'onde λ de cette onde ultrasonore se propageant dans une eau calme.

1.2- La valeur de λ varie-t-elle si cette onde se propage dans l'air? Justifier la réponse.

2- 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 telle 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 horizontale, 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 $d = 1,0m$.

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 signe $u(t)$ dans les deux cas suivants:

- 1er cas: L'émetteur E est à la position A, et le récepteur R est à la position B figure (1).
- 2ème cas: L'émetteur E est à la position B, et le récepteur R est à la position A figure (2).

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

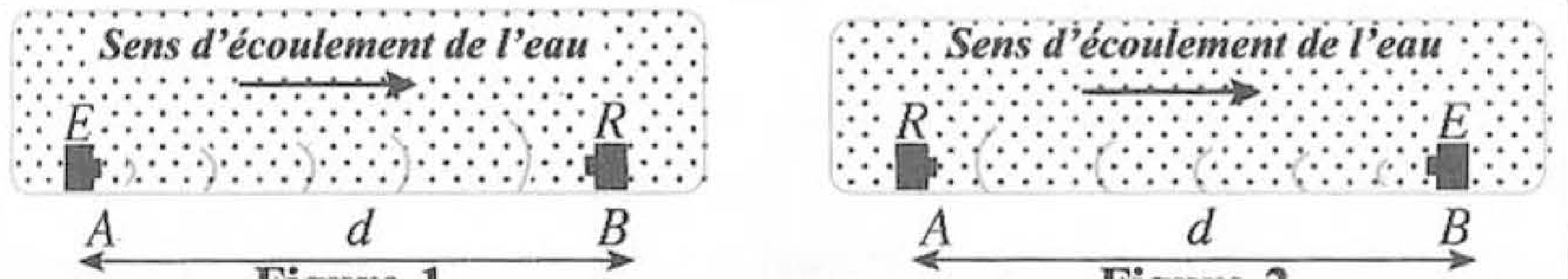


Figure-1 Figure-2

La figure 3 représente les deux enregistrements obtenus (a) et (b).

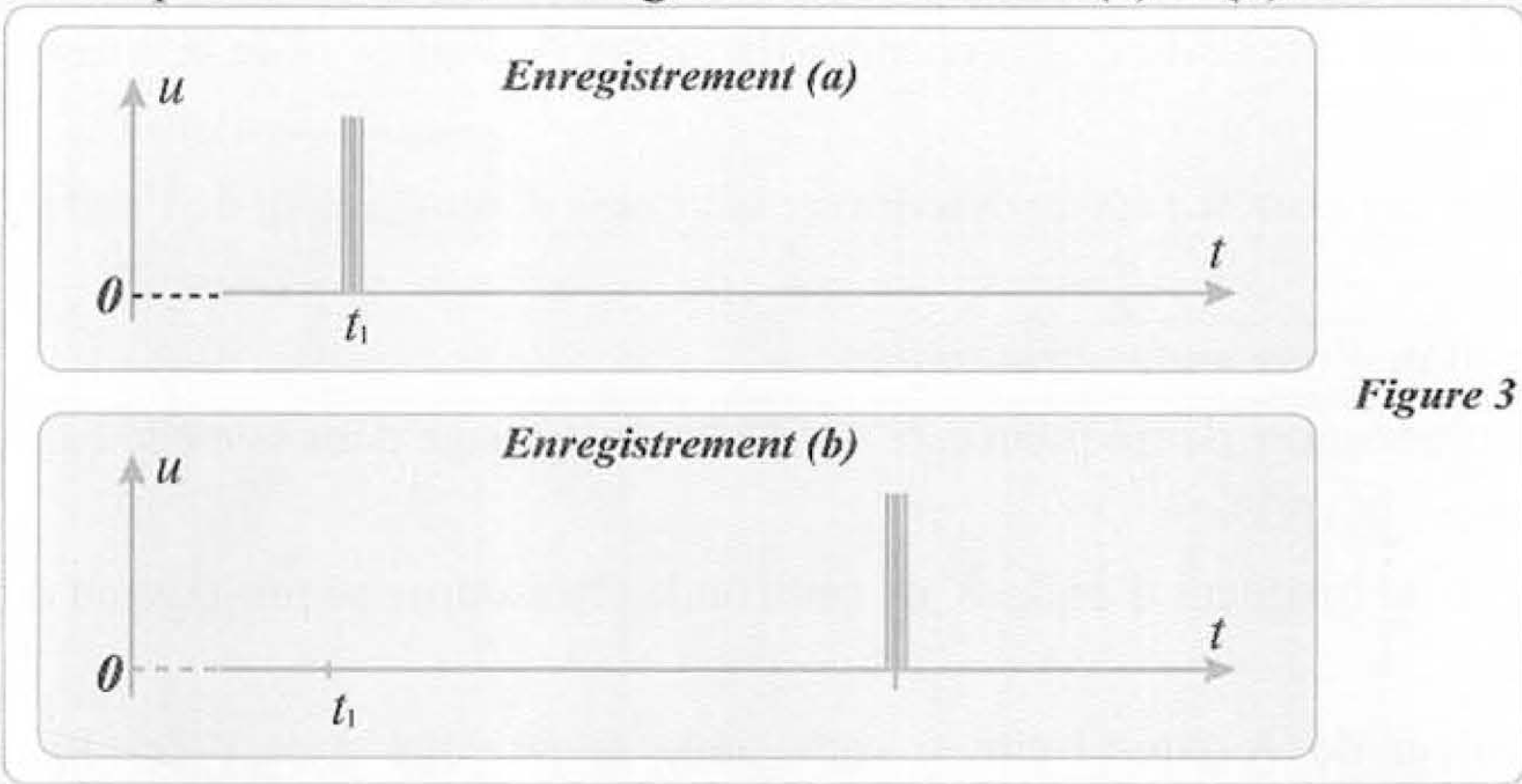


Figure 3

2.1- Indiquer l'enregistrement correspondant au 2ème cas. Justifier la réponse.

2.2- τ représente la différence des deux durées de propagation de l'onde ultrasonore de l'émetteur E au récepteur R dans les deux cas.

a- Déterminer l'expression de τ en fonction de v_e, v_0 et d.

b- En négligeant la vitesse v_e devant v_0, déterminer la vitesse v_e d'écoulement de l'eau dans la conduite sachant que $\tau = 2,0\mu s$.

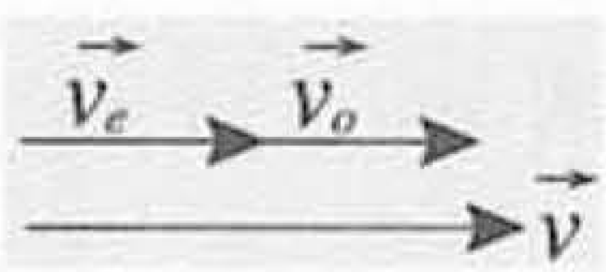
Solution

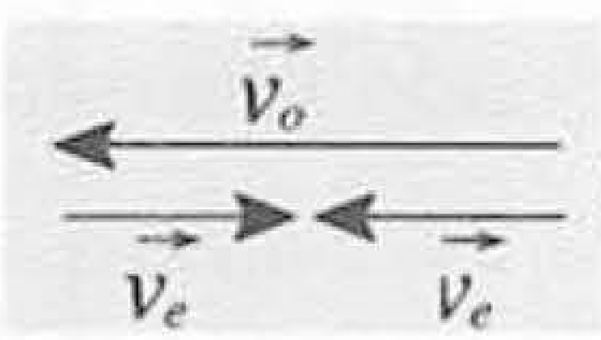
1.1- $\lambda = V_0.T = \dfrac{V_0}{N} = \dfrac{1500}{50} = 30m$

1.2- La longueur d'onde varie lorsque le milieu de propagation change, car la vitesse de l'onde varie avec le milieu.

2- Analysons la relation vectorielle:

$\vec{V} = \vec{V_0} + \vec{V_e}$.

1er cas:  ; $(v_1) = v_0 + v_e$

2ème cas:  ; $v_2 = v_0 - v_e$

On remarque $v_1 > v_2$ et la distance parcourue par l'onde dans les deux cas est la même.

donc: $t_1 = \dfrac{d}{v_1} < t_2 = \dfrac{d}{v_2}$

• Le 2ème cas lui correspond la figure (b).

2.2-a-

$$\tau = t_2 - t_1 = \frac{d}{v_2} - \frac{d}{v_1}$$

$$\tau = d\left(\frac{1}{v_0 - v_e} - \frac{1}{v_0 + v_e}\right) = \frac{2v_e.d}{v_0^2 - v_e^2}$$

2.2-b- $v_0^2 - v_e^2 \simeq v_0^2$

$$\tau = \frac{2v_e.d}{v_0^2} ;$$

$$v_e = \frac{\tau.v_0^2}{2.d}$$

$$v_e = \frac{2.10^{-6}.(1500)^2}{2.1} = 2,25m.s^{-1}$$

12 Une source E d'ultrasons émet une onde progressive sinusoïdale qui se propage dans un tube plein d'eau où sont placés deux récepteurs R_1 et R_2, dans la même direction contenant l'émetteur E (figure 1).

Les signaux captés par E sont visualisés sur l'écran d'un oscilloscope bicourbe réglé sur la sensibilité horizontale $5\mu S/div$.

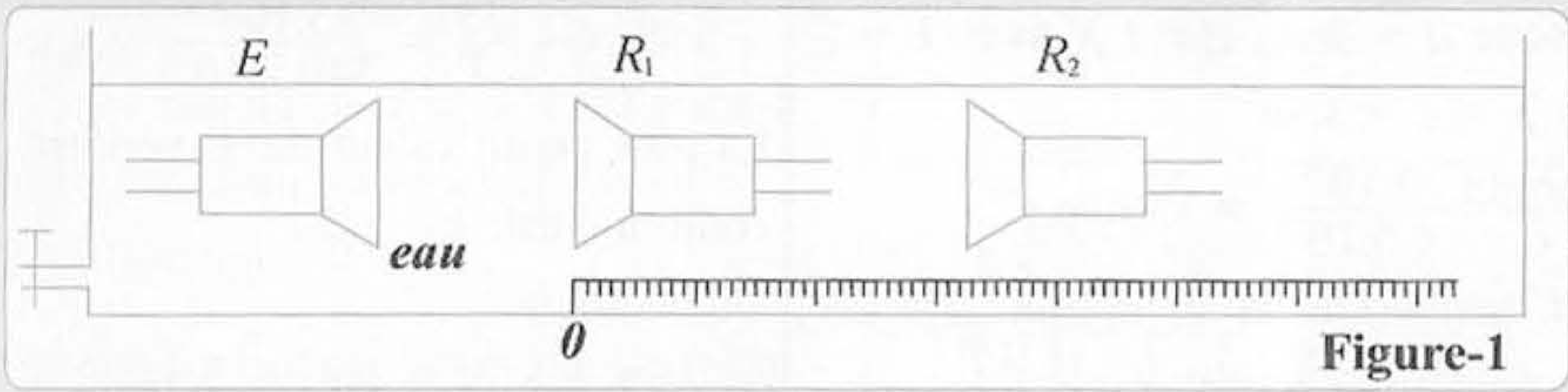


Figure-1

1- Au début, R_1 et R_2 sont placés au niveau de la graduation 0 sur une règle graduée, à ce moment; les deux courbes visualisées sont en phase.

- On éloigne R_1 et R_2 suivant la direction de la règle graduée, le signal capté par R_2 se déplace à droite, et les deux courbes deviennent à nouveau en phase lorsque $d = 3cm$ (figure 2).

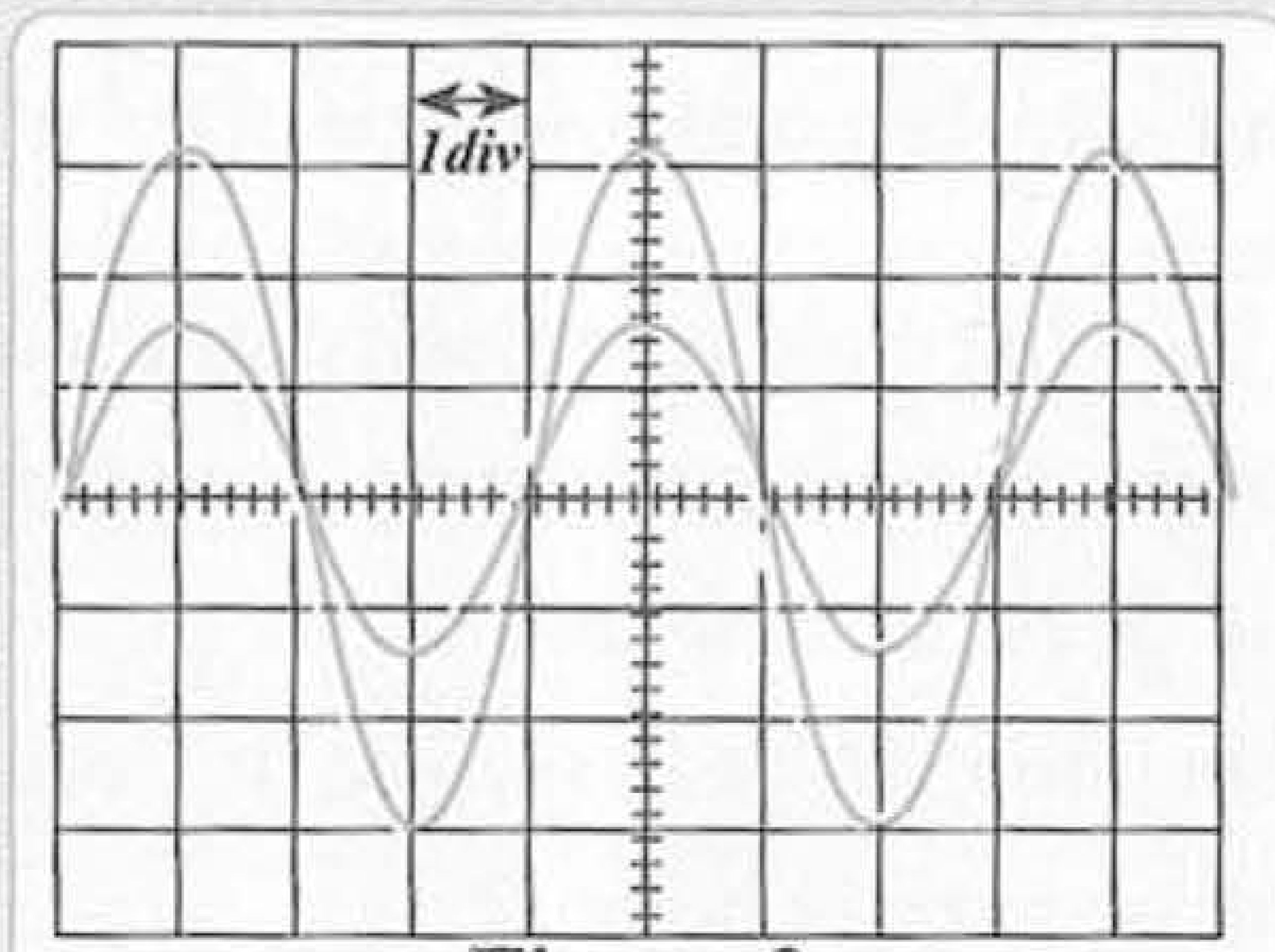


Figure-2

1.1- Donner la définition de la longueur d'onde λ.

1.2- Ecrire la relation liant λ ; la fréquence N de l'onde ultrasonore et sa célérité v.

1.3- Déduire de cette expérience la célérité V_e de l'onde ultrasonore dans l'eau.

2- Propagation de l'onde ultrasonore dans l'air:

On garde le montage précédent, avec R_1 et R_2 aux mêmes positions $(d = 3cm)$, et on fait évacuer l'eau du bassin.

On observe que les deux signaux captés par R_1 et R_2 sont décalés l'un par rapport à l'autre.

2.1- Commenter cette observation.

2.2- De quelle distance minimale doit-on éloigner R_1 et R_2 pour que les deux signaux deviennent en phase?

On donne: vitesse de propagation des ultrasons dans l'air: $V_a = 340 m.s^{-1}$.

Solution

1.1- La longueur d'onde est la distance minimale entre deux points ayant le même état vibratoire.

Autre définition:

La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période temporelle T de l'onde.

1.2- $\lambda = V.T = \frac{V}{N}$

1.3- Appliquons la condition de concordance de phase: $d = k.\lambda$.

- Lorsque $d_0 = 0$ on a $k = 0$.
- Lorsque $d = 3cm$, $d = k.\lambda$ avec $k = 1$

donc: $\lambda = d = 3cm$

$$v_e = \frac{\lambda_e}{T} = \frac{3.10^{-2}}{4.5.10^{-6}} = 1500 m.s^{-1}$$

2.1- Considérons la condition $d = k.\lambda$, qu'on peut aussi écrire: $d = \frac{k.V.T}{N}$.

En passant de l'eau à l'air, la vitesse de l'onde change de valeur, le décalage observé pour les deux signaux est dû au fait que la condition $d = k.\lambda_a$ n'est pas remplie, lorsque $d = 3cm$.

2.2- La distance d' qui permet d'avoir une concordance de phase dans l'air est telle que: $d' = k.\lambda_a \quad (k \in \mathbb{N}^*)$

or: $d' > d$, alors: $k.\lambda_a > d$

$$k > \frac{d}{\lambda_a} = \frac{d}{V_a.T} = \frac{3.10^{-2}}{340.2.10^{-5}} = 4,4\cdot$$

La plus petite valeur de k vérifiant cette condition est: $k_{min} = 5$.

On déduit que:

$$d'_{min} = k_{min}.\lambda_a = 5.\lambda_a = 5.340.2.10^{-5} = 3,4cm$$

R_1 et R_2 étaient distants de $3cm$, il fallait donc déplacer R_2 de $0,4cm$.

13 Une onde progressive sinusoïdale de fréquence $15,0Hz$, se propage à partir d'un point S de la surface de l'eau contenue dans une cuve. L'amplitude du mouvement de S est de $5,0mm$.

Un point M de la surface de l'eau, situé à $2,5cm$ du point S vibre en opposition de phase avec le point S.

Quelle est la valeur de la célérité V de l'onde si elle est comprise entre $20cm.s^{-1}$ et $30cm.s^{-1}$?

Solution

1- Les points M et S vibrent en opposition de phases, alors:

$$d = SM = (2k+1)\frac{\lambda}{2} ; k \in \mathbb{N}\cdot$$

Or $\lambda = \frac{V}{N}$ d'où: $d = (2k+1)\frac{V}{2N}$;

On déduit que: $V = \frac{2Nd}{(2k+1)}$

D'après l'énoncé, V se trouve entre V_1 et V_2.

par suite: $V_1 \leq \frac{2Nd}{(2k+1)} \leq V_2$

ou encore: $\frac{1}{V_2} \leq \frac{(2k+1)}{2Nd} \leq \frac{1}{V_1}$

$$\frac{2Nd}{V_2} - 1 \leq 2k \leq \frac{2Nd}{V_1} - 1$$

$$\frac{Nd}{V_2} - \frac{1}{2} \leq k \leq \frac{Nd}{V_1} - \frac{1}{2}$$

$$\frac{15.2,5.10^{-2}}{30.10^{-2}} - \frac{1}{2} \leq k \leq \frac{15.2,5.10^{-2}}{20.10^{-2}} - \frac{1}{2}$$

$$0,25 \leq k \leq 1,375 ; k \in \mathbb{N}$$

donc: $k = 1$

La relation (1) fournit:

$$V = \frac{2N.d}{3} = 25cm.s^{-1}$$

14 Un haut-parleur alimenté par un générateur de basse fréquence (GBF) émet une onde sonore de fréquence f, Cette onde est visualisée sur la voie Y_A d'un oscilloscope figure (2).

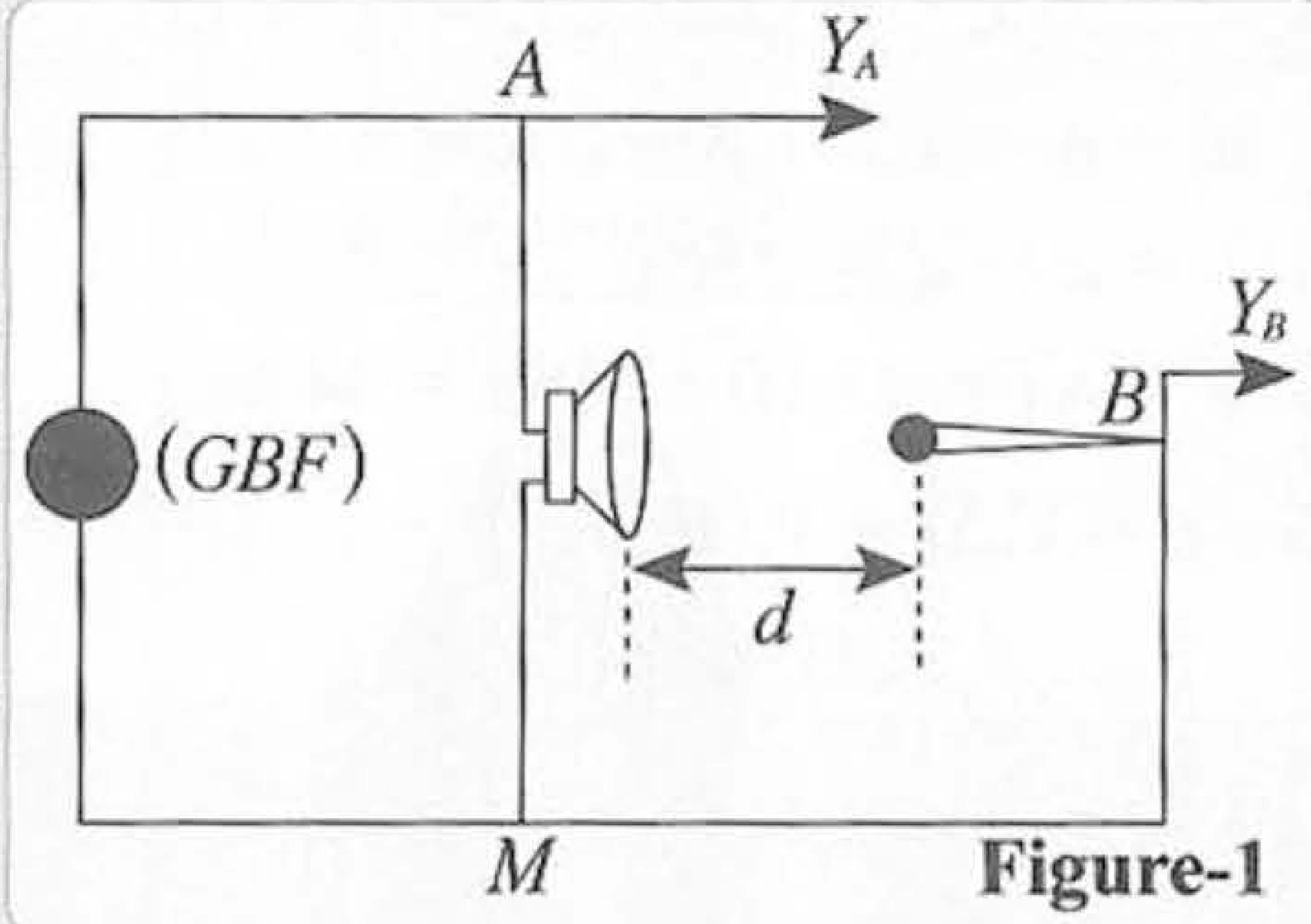


Figure-1

On place à une distance d du haut-parleur un microphone qu'on relie avec la voie Y_B de l'oscilloscope.

- Balayage horizontal: $96\mu s$ par division.

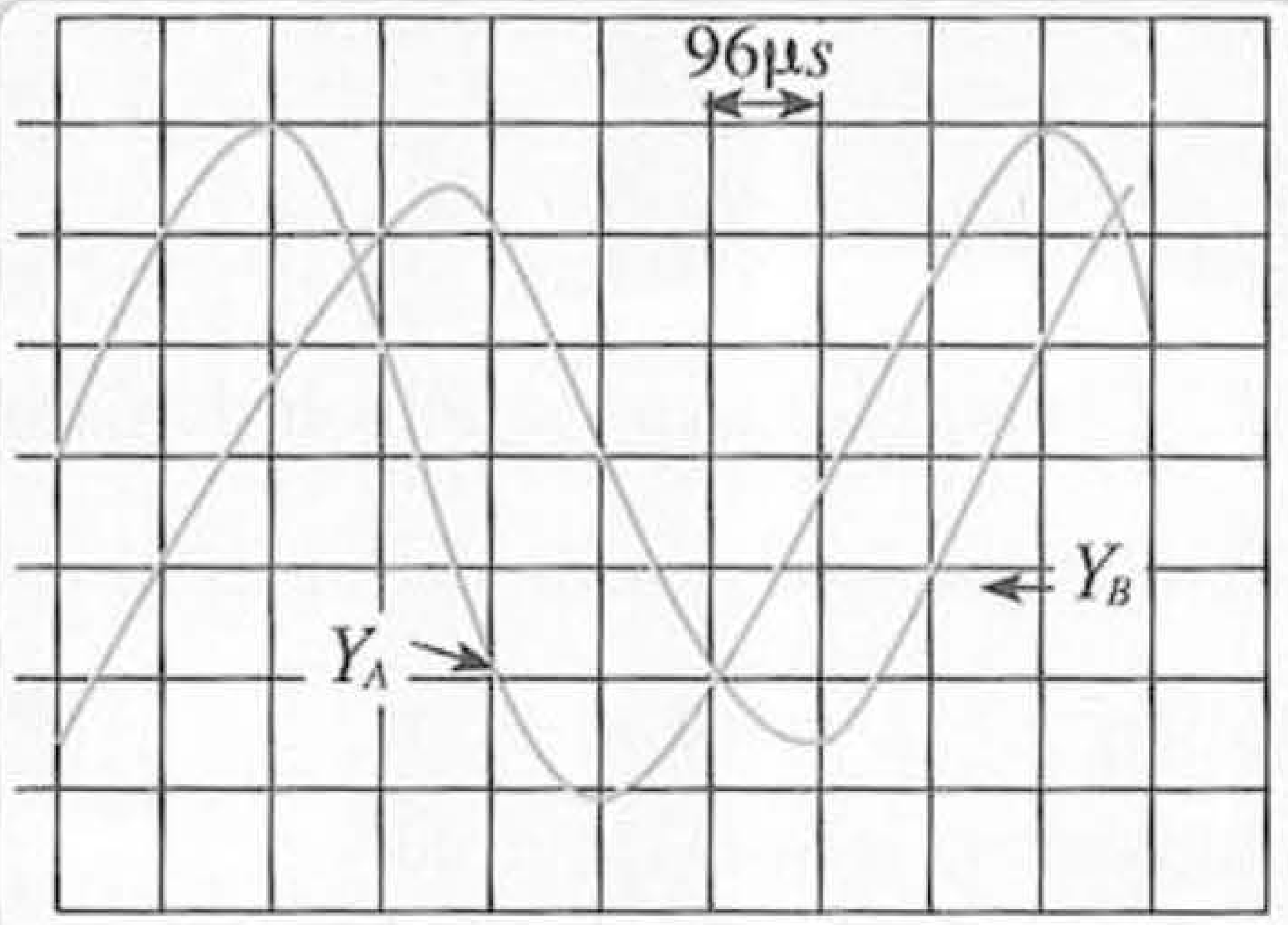


Figure-2

1- Déterminer la fréquence f de l'onde sonore.

2- Déterminer la valeur du décalage horaire τ entre les deux signaux.

3- Exprimer la durée Δt que met l'onde pour parcourir la distance d, en fonction de τ, f et k. k étant un nombre entier.

4- On éloigne le microphone de la source jusqu'à ce que les deux courbes deviennent en phase, le microphone est alors à la distance d_1 du haut-parleur. Cette position est notée (1).

On éloigne encore le microphone jusqu'à l'obtention d'une nouvelle concordance de phases, on note que le microphone se trouve à la distance $\Delta d = 23cm$ de sa position (1).

4.1- Déterminer la célérité V du son dans l'air.

4.2- Sachant que la distance d figurant aux début de l'exercice est comprise entre $40cm$ et $60cm$; déterminer la valeur de cette distance.

Solution

1- $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{7.96.10^{-6}} = 1488Hz$.

2- $\tau = 1,5div = 144.10^{-6} = 1,44.10^{-4}s$

3- Si les deux courbes étaient en phase, on aurait dû écrire: $\frac{d}{\lambda} = \frac{\Delta t}{T} = k$

Dans ce cas le décalage entre deux maxima voisins de ces deux courbes est nul.

Dans notre cas: $\Delta t = kT + \tau$.

4.1- Les deux concordances de phases obtenues à d_1 et d_2 sont successives;

donc: $d_1 = k_1\lambda$ et $d_2 = k_2\lambda = (k_1+1)\lambda$

$$d_2 - d_1 = k_1\lambda + \lambda - k_1\lambda = \lambda$$

$$\lambda = d_2 - d_1 = 23cm$$

$$V = \lambda.f = 23.10^{-2}.1488 = 342m.s^{-1}$$

4.2- $d = V.\Delta t = V.(kT+\tau)$

$$k = \frac{d}{V.T} - \frac{\tau}{T} = \frac{d.f}{V} - \frac{\tau}{T}$$

$$40cm \le d \le d_{max} = 60cm$$

$$d_{min} \le V(kT+\tau) \le d_{max}$$

$$\frac{d_{min}}{V} - \tau \le kT \le \frac{d_{max}}{V} - \tau$$

$$\left(\frac{d_{min}}{V} - \tau\right).f \le k \le \left(\frac{d_{max}}{V} - \tau\right).f$$

$$\left(\frac{40.10^{-2}}{342} - 1,44.10^{-4}\right).1488 \le k \le \left(\frac{60.10^{-2}}{342} - 1,44.10^{-4}\right).1488$$

$1,526 \le k \le 2,39\,;\, k \in \mathbb{N}$

On déduit que: $k = 2$

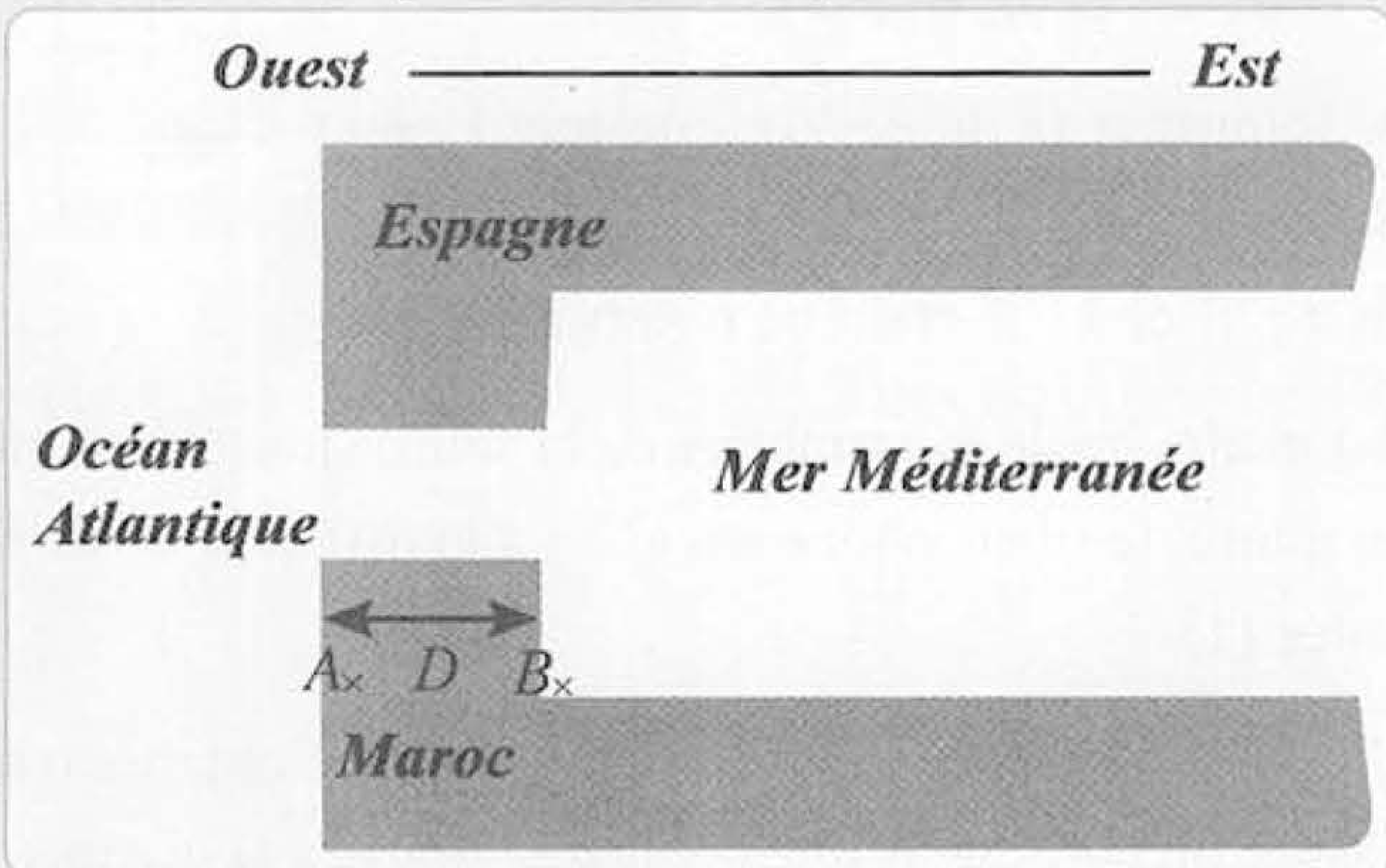
La relation précédente donne:

$$d = V(2T+\tau)$$

$$d = 342.\left(2.\frac{1}{1488} + 1,44.10^{-4}\right) = 50,89cm$$

15 Les marées dans le détroit de Gibraltar:

On modélise la région du détroit de Gibraltar par un canal de profondeur $700m$, de largeur $L = 10km$ et de longueur $D = 50km$ qui débouche sur la mer Méditerranée. La houle est assimilée à une onde progressive sinusoïdale arrivant de l'ouest. On considère, dans un premier temps, le cas où la profondeur h est bien supérieure à la longueur d'onde λ de la houle.



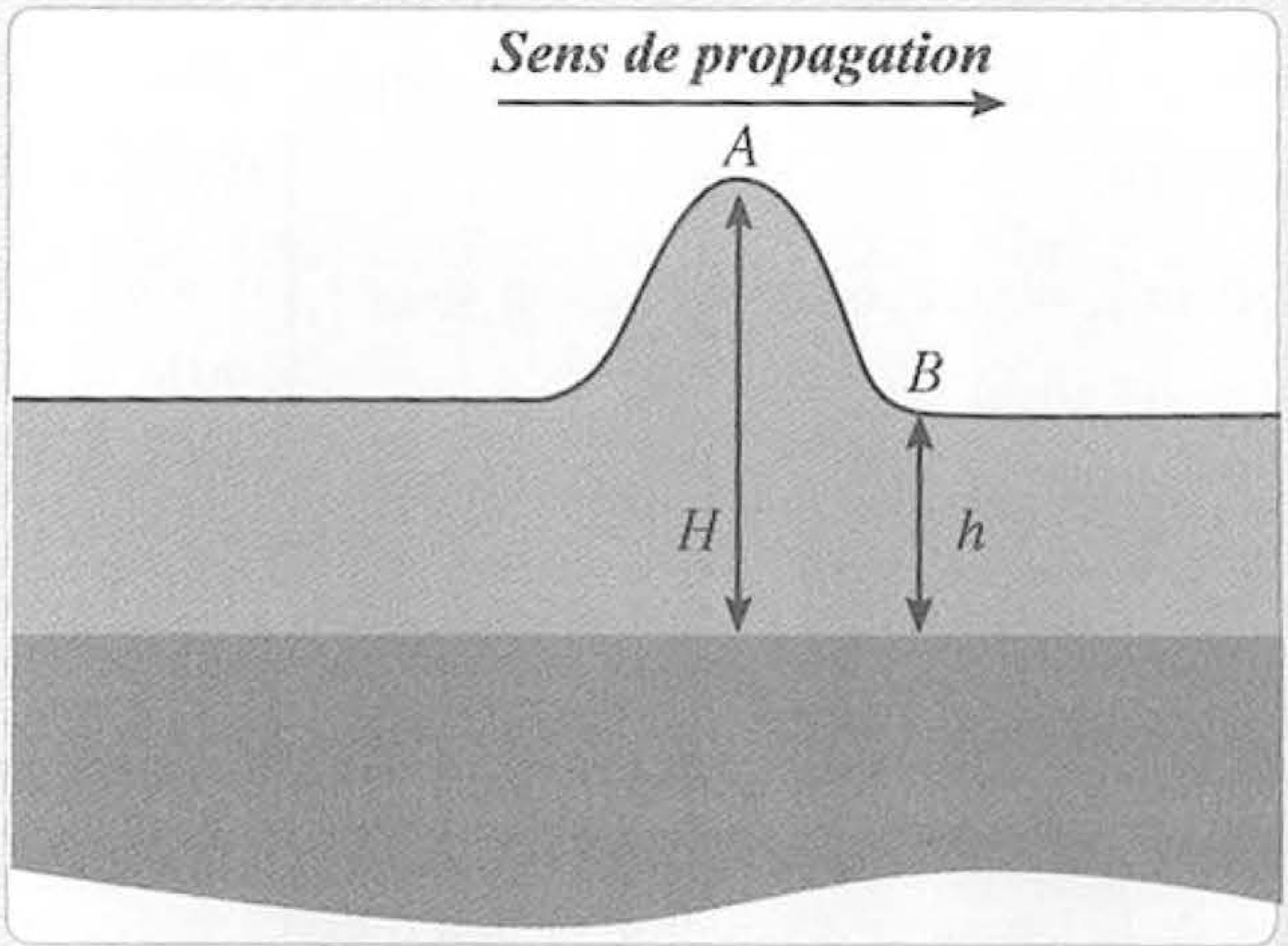
La célérité est alors égale à $v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$ où $g = 9,81m.s^{-2}$ est l'accélération de la pesanteur.

1- Quelle est la nature physique de la perturbation qui se propage?

2- Justifier, par analyse dimensionnelle, que la quantité $\sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$ a bien les dimensions d'une célérité.

3- Le milieu de propagation est-il dispersif?

4- Calculer la célérité d'une houle de longueur d'onde $\lambda = 50m$. En déduire le délai qui s'écoule entre le passage d'une vague au point A à l'entrée du détroit et son passage au point B à la sortie.



5- On considère maintenant le cas où $\lambda \gg h$: la célérité de l'onde est alors égale à $v = \sqrt{gh}$.

Le milieu de propagation est-il alors dispersif?

6- On considère la «vague» représentée ci-contre.

Donner l'expression de la célérité de l'onde au point A en fonction de g et h.

En quel point la célérité est-elle la plus grande?

En déduire que cette vague se déforme au cours de sa propagation.

Représenter sur un schéma la forme ultérieure de la vague. A quel phénomène aboutit finalement cette déformation? Peut-on considérer qu'une telle vague constitue une onde progressive?

7- Donner l'ordre de grandeur de la longueur d'onde d'une houle qui serait diffractée à sa sortie du détroit de Gibraltar. Quelle est la valeur correspondante de la célérité? Utiliser la formule adéquate en fonction de la valeur de la longueur d'onde trouvée.

Solution

1- La perturbation qui se propage est la différence de hauteur de la surface libre de l'océan par rapport à l'état de repos où elle est horizontale.

2- On a:

- $[g] = L.T^{-2}$ car g est accélération;

- $[\lambda] = L$;

- La constante 2π est sans dimension; sachant que L désigne la dimension longueur et T la dimension temps.

D'où: $\left[\dfrac{g\lambda}{2\pi}\right] = L^2.T^{-2}$

On conclut que $\sqrt{\dfrac{g\lambda}{2\pi}}$ est homogène au rapport d'une longueur et d'un temps, c'est-à-dire à une vitesse, comme la célérité de l'onde étudiée.

3- La célérité dépend de la longueur d'onde: le milieu de propagation est donc dispersif.

4-Pour $\lambda = 50m$, on trouve: $v = 8,8m.s^{-1}$, soit $v = 32km.h^{-1}$.

Une vague parcourt la longueur:

$D = 50km$ du détroit en une durée égale à $\frac{50}{32}h$ soit approximativement $1h30\min$.

5-Dans ce second cas, la célérité ne dépend pas de la longueur d'onde: le milieu n'est pas dispersif.

6- Au point A, la célérité de l'onde vaut: $v_A = \sqrt{gH}$.

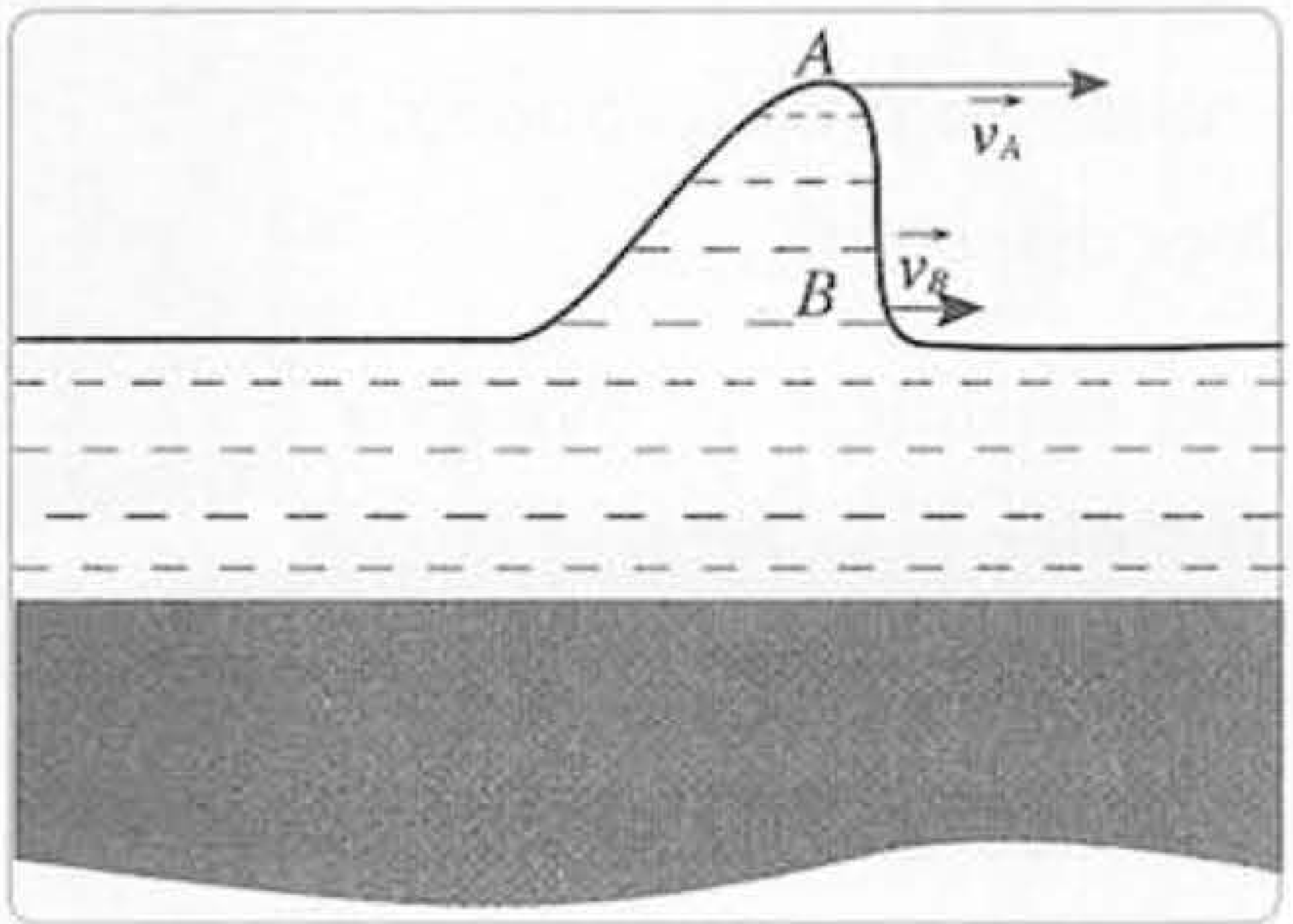
Au point B, elle vaut $v_B = \sqrt{gh}$.

Comme $H > h$, on a: $v_A > v_B$.

Le sommet de la vague se déplace donc plus vite que la base: le front avant de la vague a tendance à se raidir comme l'indique la figure.

Une telle onde qui se déforme en se propageant n'est pas une onde progressive. Lorsque le front avant de la vague devient trop raide, elle déferle.

7- Une houle qui serait diffractée à sa sortie du détroit, serait telle que $\lambda \approx L$ soit $\lambda \approx 10km$.



Comme cette longueur d'onde est bien supérieure à la profondeur h du canal, on doit utiliser la formule $v = \sqrt{gh}$.

Avec $h = 700m$, on trouve une célérité de l'onde $v = 83m.s^{-1}$, soit quasiment $300km.h^{-1}$.

16 On s'intéresse dans cet exercice aux tsunamis, du japonais tsu, port, et nami, vague (grande vague dans le port, ou raz-de-marée). Les tsunamis sont des vagues extrêmement destructrices créées, par exemple, par des séismes sous-marins. Ces vagues se propageant à la surface de l'océan et arrivant aux côtes où elles peuvent occasionner des dommages considérables.

Données:

Les tsunamis se produisant essentiellement dans l'océan pacifique, on supposera qu'en plein océan la profondeur est uniforme et vaut $d = 10km$.

Accélération de la pesanteur: $g = 10m.s^{-2}$.

On admettra que la célérité de la houle est donnée par les formules suivantes:

Dans le cas peu profond où la profondeur d est inférieure à la longueur d'onde:

$V = \sqrt{gd}$

Dans le cas profond où la profondeur d est supérieure à la longueur d'onde λ, on a: $V = \sqrt{\dfrac{g\lambda}{2\pi}}$

1- Des observateurs rapportent que lors du passage d'un tsunami, on vit déferler 7 énormes vagues, et que deux vagues successives étaient séparées par un intervalle de 20 minutes. Quelles est la fréquence de l'onde de houle associée au tsunami?

2- Quelle est la célérité d'un tsunami en plein océan? Quelle est la longueur d'onde en plein océan?

3- On admettra que la quantité $V.H^2$ est conservée lorsque le tsunami se propage, où v est sa célérité et H la hauteur de la houle. Si la hauteur d'un tsunami en plein océan est 1m, quelle est la hauteur de la déferlante sur des côtes peu profondes, où la profondeur moyenne de l'eau est de 4m?

4- Un tsunami est-il détectable en plein océan?

5- Un tsunami arrive du sud entre les deux îles A et B représentées ci-dessous. On supposera que la profondeur de l'océan entre ces îles est la même qu'en plein océan. Ya-t-il risque de raz-de-marée dans le port V de l'île C? On justifiera soigneusement.

Solution

1- La fréquence de la houle associée aux tsunamis est simplement celle mentionnée par les observateurs, soit 1 vague pour 20 minutes, ou encore:

$$N = \frac{1}{20 \times 60} \approx 8,3.10^{-4} Hz$$

2- Pour déterminer la célérité et longueur d'onde d'un tsunami en plein océan, il faut savoir s'il faut se placer dans le cas profond ou dans le cas peu profond. On va donc supposer successivement chaque cas, puis on verra si la longueur d'onde obtenue vérifie la supposition.

(a) On suppose que l'on est dans le cas profond. Alors la célérité s'écrit:

$$V = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$$

donc, on peut écrire:

$$\lambda = \frac{V}{N} = \frac{1}{N}\sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$$

ce qui donne: $\lambda^2 = \dfrac{1}{N^2}\dfrac{g\lambda}{2\pi}$

d'où l'on déduit: $\lambda = \dfrac{g}{2\pi N^2}$

L'application numérique donne:

$$\lambda = \frac{10}{2\pi \times (8,3.10^{-4})^2} \approx 2,3.10^6 m$$

On voit que l'on aboutit à une contradiction, puisque cette longueur d'onde est plus grande que la profondeur de l'océan, donc on ne peut pas être dans le régime profond.

(b) On suppose à présent que l'on est dans le cas peu profond. Alors la célérité s'écrit: $V = \sqrt{gd}$

et donc: $\lambda = \frac{V}{N} \frac{\sqrt{gd}}{N}$

L'application numérique donne:

$$\lambda = \frac{\sqrt{10 \times 10^4}}{8,3.10^{-4}} \approx 3,8.10^5 m \approx 380 km$$

Cette longueur d'onde est bien supérieure à la profondeur de l'océan donc l'hypothèse est vérifiée et l'on est bien dans le cas profond.

$$V = \sqrt{g.d} = \sqrt{10 \times 10^4} \approx 320 m.s^{-1}$$
$$\approx 1140 km.h^{-1}$$

Les tsunamis ont donc une très grande longueur d'onde et se propagent à une très grande célérité.

3- On écrit que vH^2 se conserve, donc:

$$V_{océan} H^2_{océan} = V_{côte} H^2_{côte}$$

On connaît $v_{océan}$, $H_{océan}$, et on veut déterminer $H_{côte}$, donc il faut au préalable calculer $v_{côte}$. On l'obtient par:

$$v_{côte} = \sqrt{gd} = \sqrt{10 \times 4}$$
$$= 6,3 m.s^{-1}$$

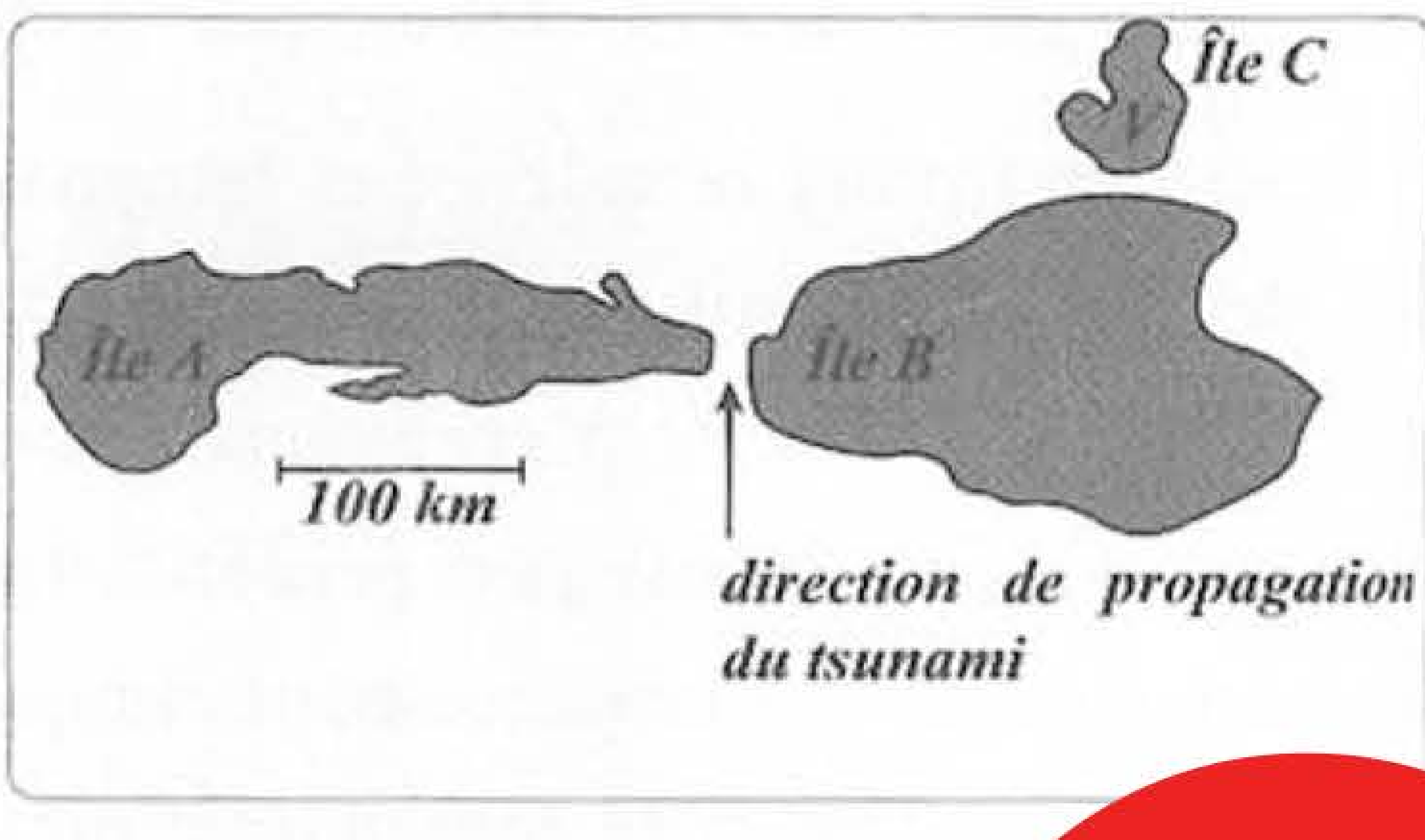
donc:

$$H_{côte} = H_{océan} \sqrt{\frac{v_{océan}}{v_{côte}}}$$
$$= 1 \times \sqrt{\frac{320}{6,3}} \approx 7,1 m$$

En fait la hauteur du tsunami lorsqu'il déferle dépend considérablement du profil de la côte, de l'endroit de déferlement, etc, et ce calcul simple ne peut donner au mieux qu'un ordre de grandeur de la hauteur de la vague. Certains tsunamis ont atteint des hauteurs de 30 mètres.

4- un tsunami est indétectable en plein océan, puisqu'il correspond à un soulèvement peu important de la surface sur une très grande distance. En particulier les bateaux ne peuvent pas détecter la présence d'un tsunami qui se propage à la surface.

5- La longueur d'onde du tsunami est bien supérieure à la taille de l'«ouverture» entre les deux îles, donc le tsunami est diffracté et va se propager dans toutes les directions après être passé entre les deux îles: il va donc menacer, entre autres, le port de l'île C.



Exercice 1

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.

1. Détermination de la célérité des ondes ultrasonores dans l'air : On place sur un banc rectiligne un émetteur E d'ondes ultrasonores, et deux récepteurs R_1 et R_2 distants de d = 0,5 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.

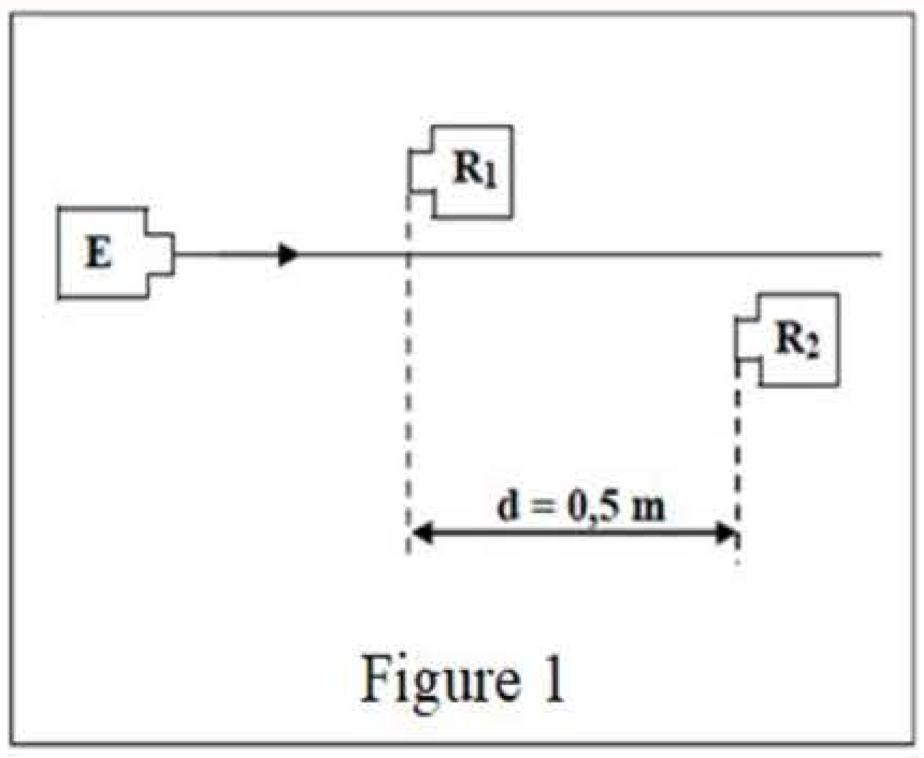


Figure 1

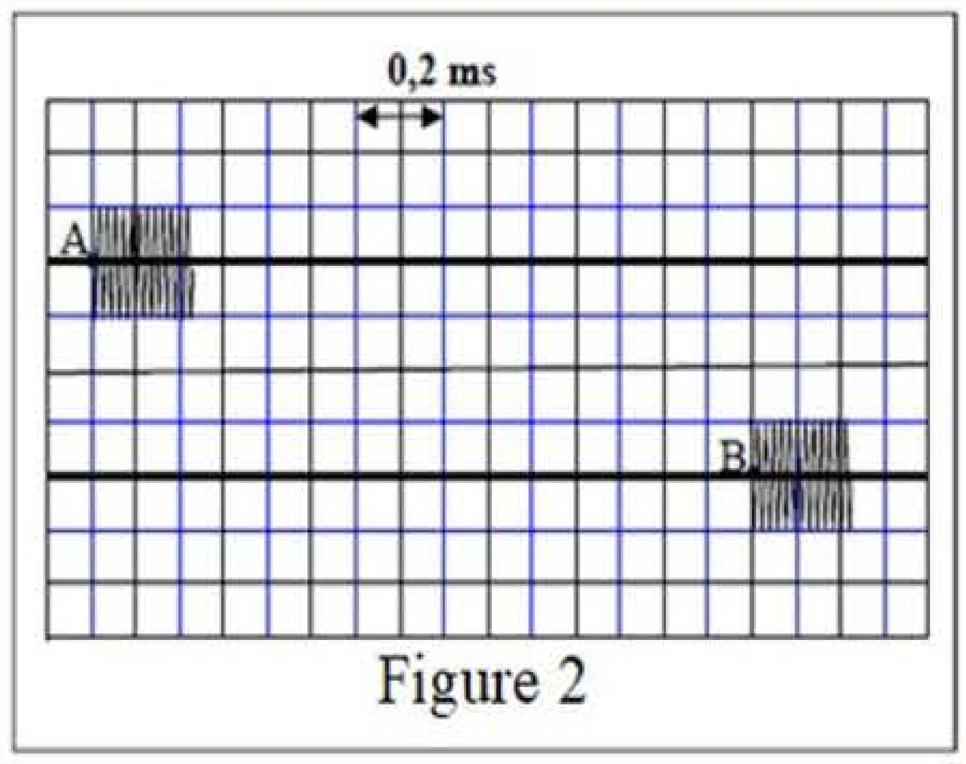


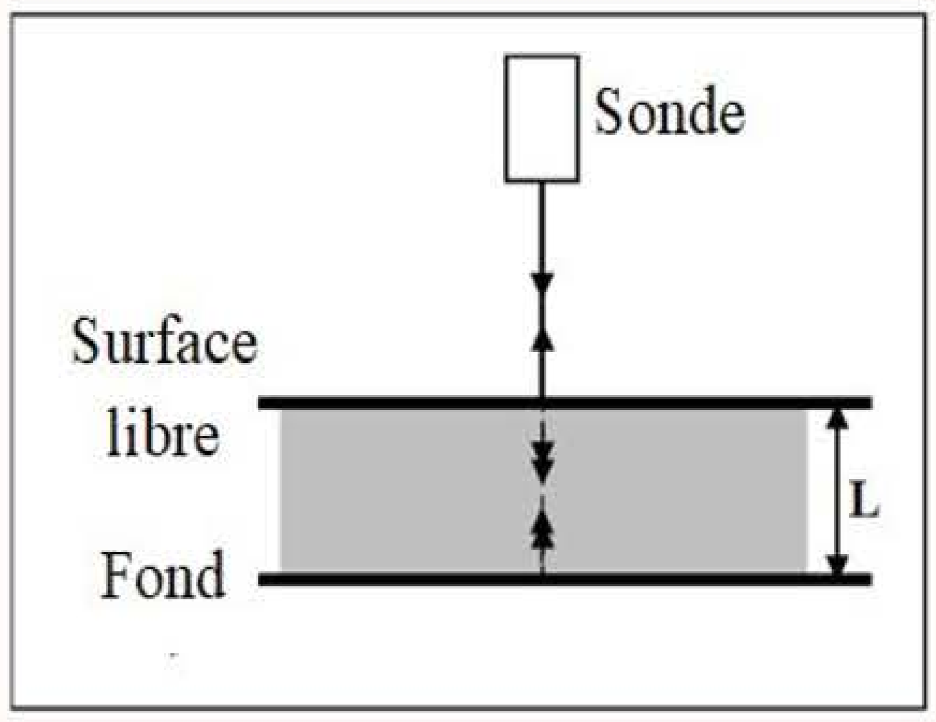
Figure 2

   1.1. Déterminer à partir de l'oscillogramme de la figure 2, le retard horaire τ entre les deux signaux reçus par les deux récepteurs R_1 et R_2.

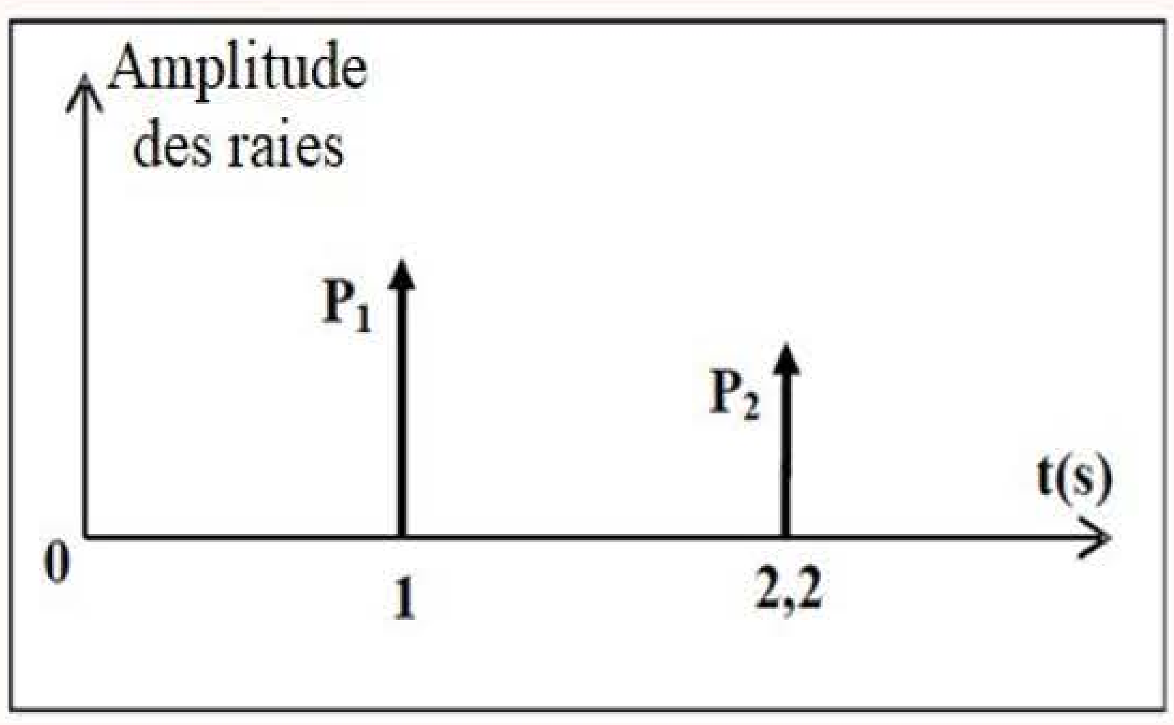
   1.2. Calculer vair la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'air.

   1.3. Ecrire l'expression de l'élongation $y_B(t)$ du point B à l'instant t, en fonction de l'élongation du point A.

2. 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 réfléchie sur cette surface, tandis que l'autre partie continue la propagation dans la couche de pétrole pour se réfléchir une deuxième fois sur son fond, et revenir vers la sonde,

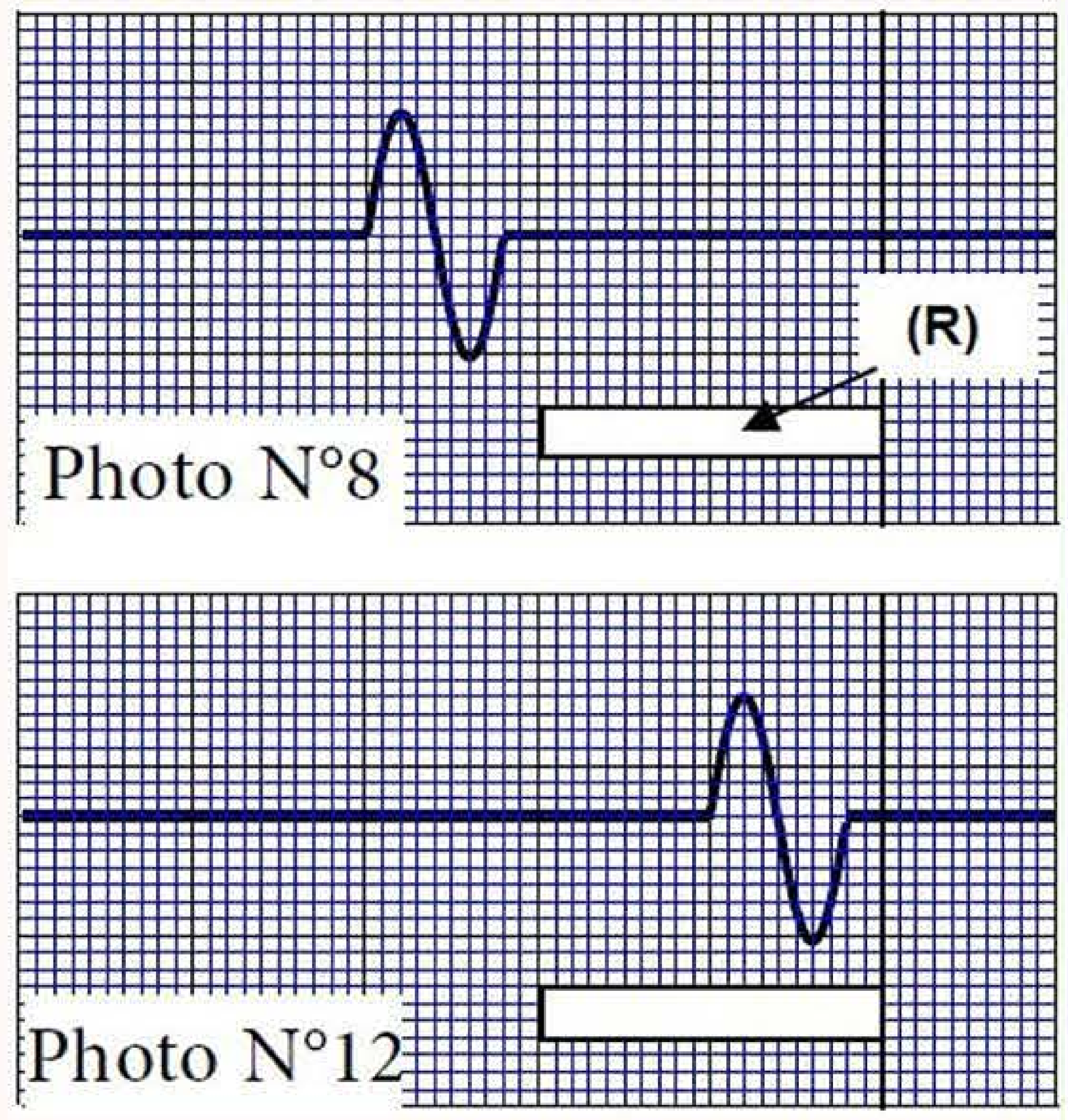


   pour être transformée à nouveau en un signal de très courte durée aussi (Figure 3).
   A l'instant t_1, la sonde révèle la raie P_1 correspondante à l'onde réfléchie sur la surface libre de la couche de pétrole, et à l'instant t_2 elle révèle la raie P_2 correspondante à l'onde réfléchie sur le fond de la couche du pétrole (Figure 4).
   Déterminer l'épaisseur L de la couche de pétrole, sachant que la célérité de propagation des ondes ultrasonores dans le pétrole brut est : v = 1,3 $km.s^{-1}$.



Exercice 2

Pour déterminer la célérité de propagation d'une onde le long d'une corde, le professeur de physique demande à l'un des élèves de produire un ébranlement à l'une des extrémités d'une corde horizontale, et en même temps, il demande à une élève de filmer la séquence à l'aide d'une caméra numérique réglée sur la prise de 25 images par seconde.
Une règle blanche (R) de longueur 1 m, a été placée au voisinage de la corde comme échelle de mesure. Après traitement informatique avec un logiciel convenable, le professeur choisit parmi les photos obtenues, les photos N°8 et N°12 (Figure ci-dessus), pour les étudier et les exploiter.
Déterminer



1. La durée Δt séparant la prise des deux photos N°8 et N°12 de l'onde,
2. La distance d parcourue par l'onde pendant la durée Δt.
3. La célérité de propagation de l'onde le long de la corde.

Détermination de la célérité d'une onde ultrasonore dans un liquide

Les ondes mécaniques se propagent seulement dans un milieu matériel, et leur célérité (vitesse de propagation) 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. A 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. A l'autre extrémité de la cuve, on place deux récepteurs R_1 et R_2, l'un dans l'air et l'autre dans le pétrole. Les récepteurs sont à une distance L des émetteurs. (voir figure 1)
On visualise sur l'écran d'un oscilloscope les deux signaux reçus par R_1 et R_2. (voir figure 2)

Données :

-les deux ondes parcourent la même distance $L = 1,84\,m$;

-la célérité des ultrasons dans l'air : $V_{air} = 340\,m.s^{-1}$;

- la sensibilité horizontale de l'oscilloscope: $2ms/div$.

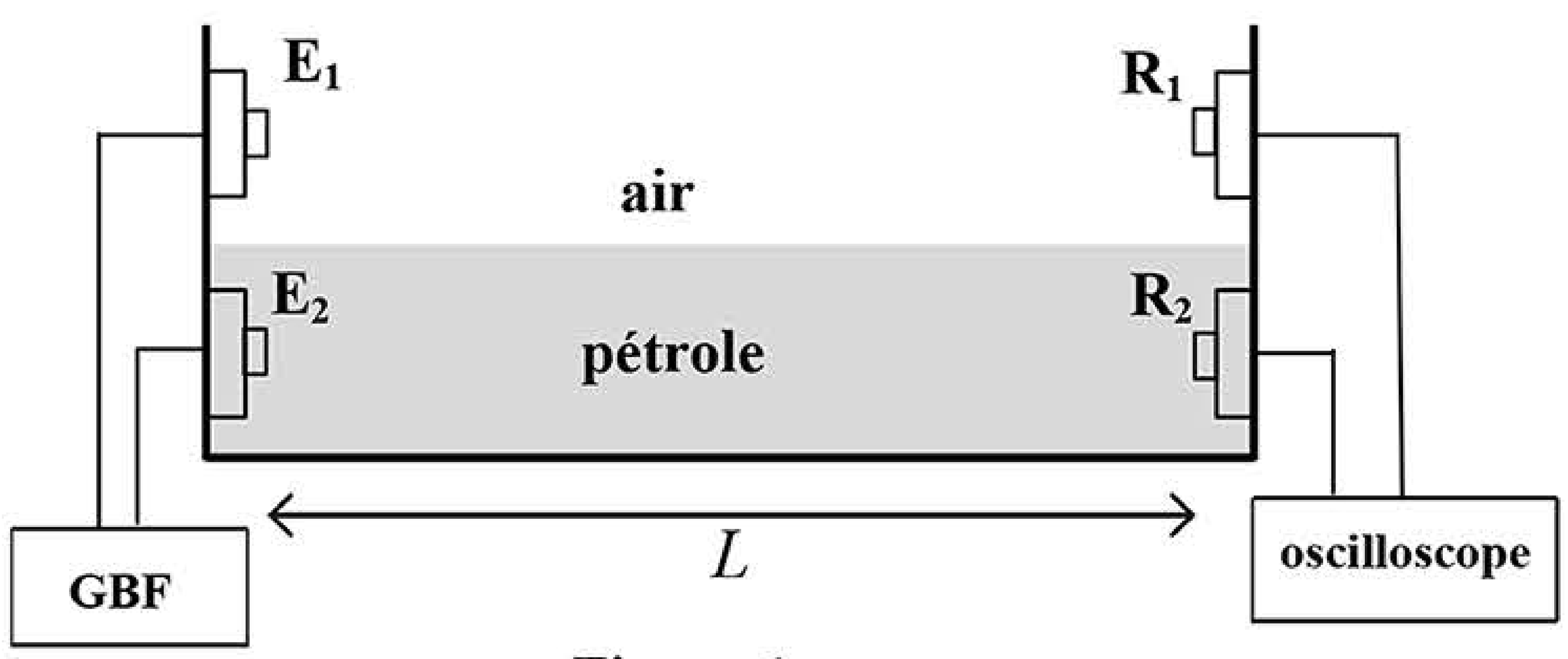


Figure 1

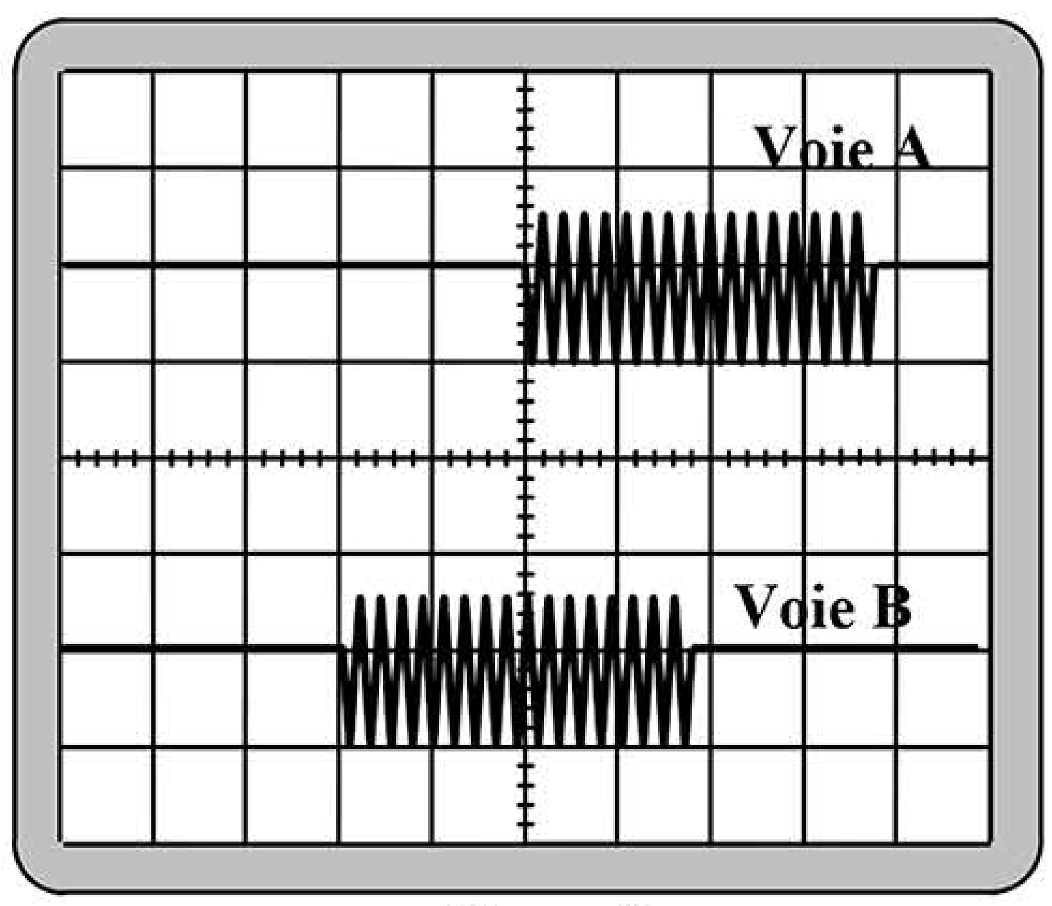


Figure2

1. Les ondes ultrasonores, sont-elles longitudinales ou transversales ? justifier.
2. En exploitant la figure 2, déterminer la valeur du retard temporel τ entre les deux ondes reçues.
3. Montrer que l'expression de τ s'écrit sous la forme: $\tau = L.(\frac{1}{V_{air}} - \frac{1}{V_p})$.
4. Trouver la valeur approchée de la célérité V_p.

Exercice 4 : Détermination de la vitesse d'écoulement d'un liquide

Les ondes ultrasonores sont des ondes mécaniques qui peuvent se propager dans les liquides avec une vitesse qui dépend de la nature du liquide et de la vitesse de son écoulement.
L'objectif de cet exercice est de déterminer la vitesse d'écoulement de l'eau dans une conduite.

1. **Propagation d'une onde ultrasonore :**
   une onde ultrasonore de fréquence N = 50Hz se propagent dans une eau calme avec une vitesse $v_0 = 1500m/s$
   1.1. Calculer la longueur d'onde λ de cette onde ultrasonore se propageant dans une eau calme.
   1.2. La valeur de λ varie-t-elle si cette onde se propage dans l'air ?Justifier la réponse.
2. 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 horizontale, on y place un émetteur E et un récepteur R des ondes ultra-sonores.
   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=1,0m.
   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 :
   - **1er cas :** L'émetteur E est à la position A , et le récepteur R est à la position B (figure1).
   - **2eme cas :** L'émetteur E est à la position B , et le récepteur R est à la position A (figure2).

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

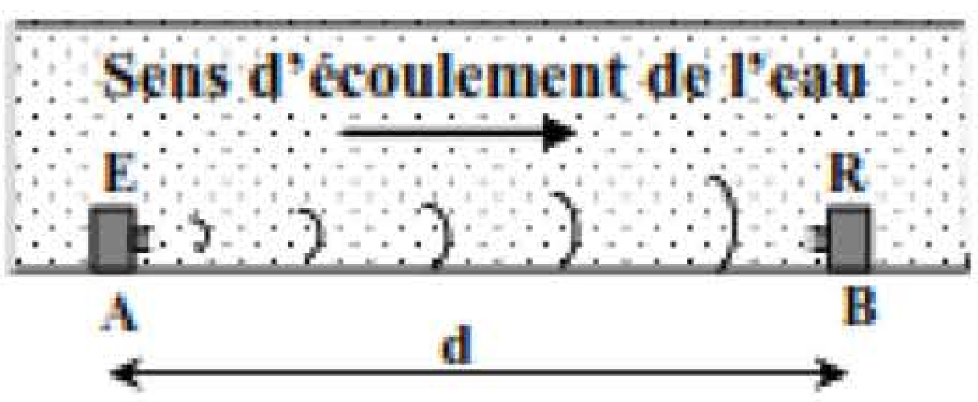


Figure1

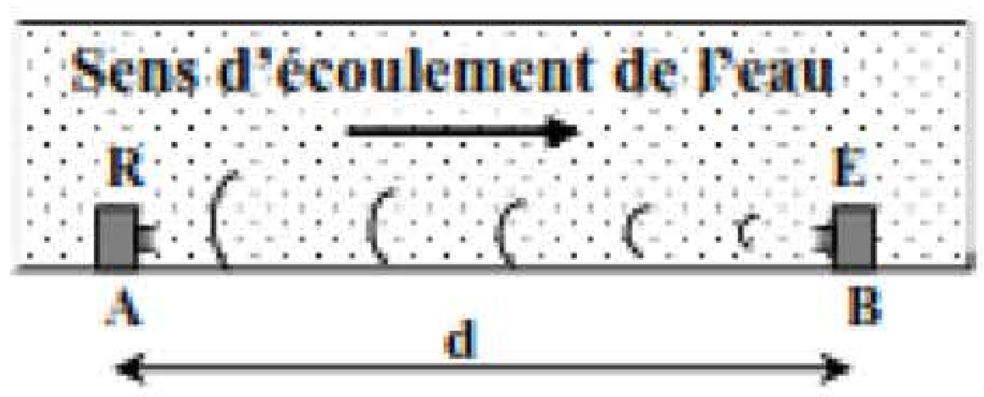


Figure2

La figure 3 représente les deux enregistrements obtenus (a) et (b).

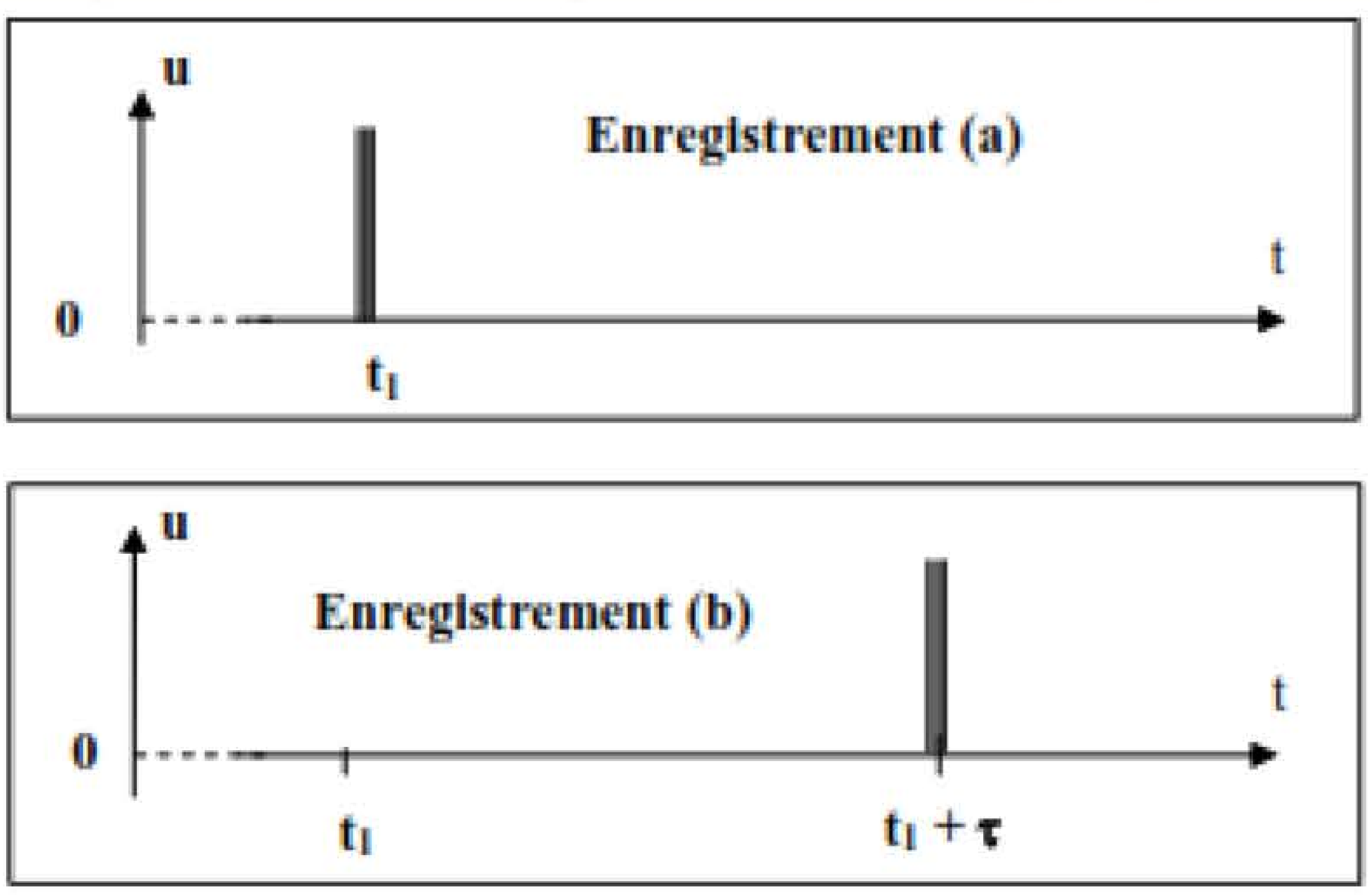


Figure 3

2.1. Indiquer l'enregistrement correspondant au 2ème cas .Justifier la réponse .

2.2. τ représente la différence des deux durées de propagation de l'onde ultrasonore de l'émetteur E au récepteur R dans les deux cas.

2.2.a Déterminer l'expression de t en fonction de v_e, v_0 et d.

2.2.b En négligeant la vitesse v_e devant v_0, déterminer la vitesse v_e d'écoulement de l'eau dans la conduite sachant que t = 2,0 µs.

Exercice 5 : Ondes ultra-sonores

On place dans un récipient contenant de l'eau, plaque de plexiglas d'épaisseur e , on plonge dans l'eau une sonde constituée d'un émetteur et d'un récepteur d'onde ultra-sonore (figure 1)

On visualise a l'aide d'un dispositif approprié chacun des signaux émis et reçu par la sonde. La durée du signal ultra-sonore est très petite ; on le représente par une raie verticale.

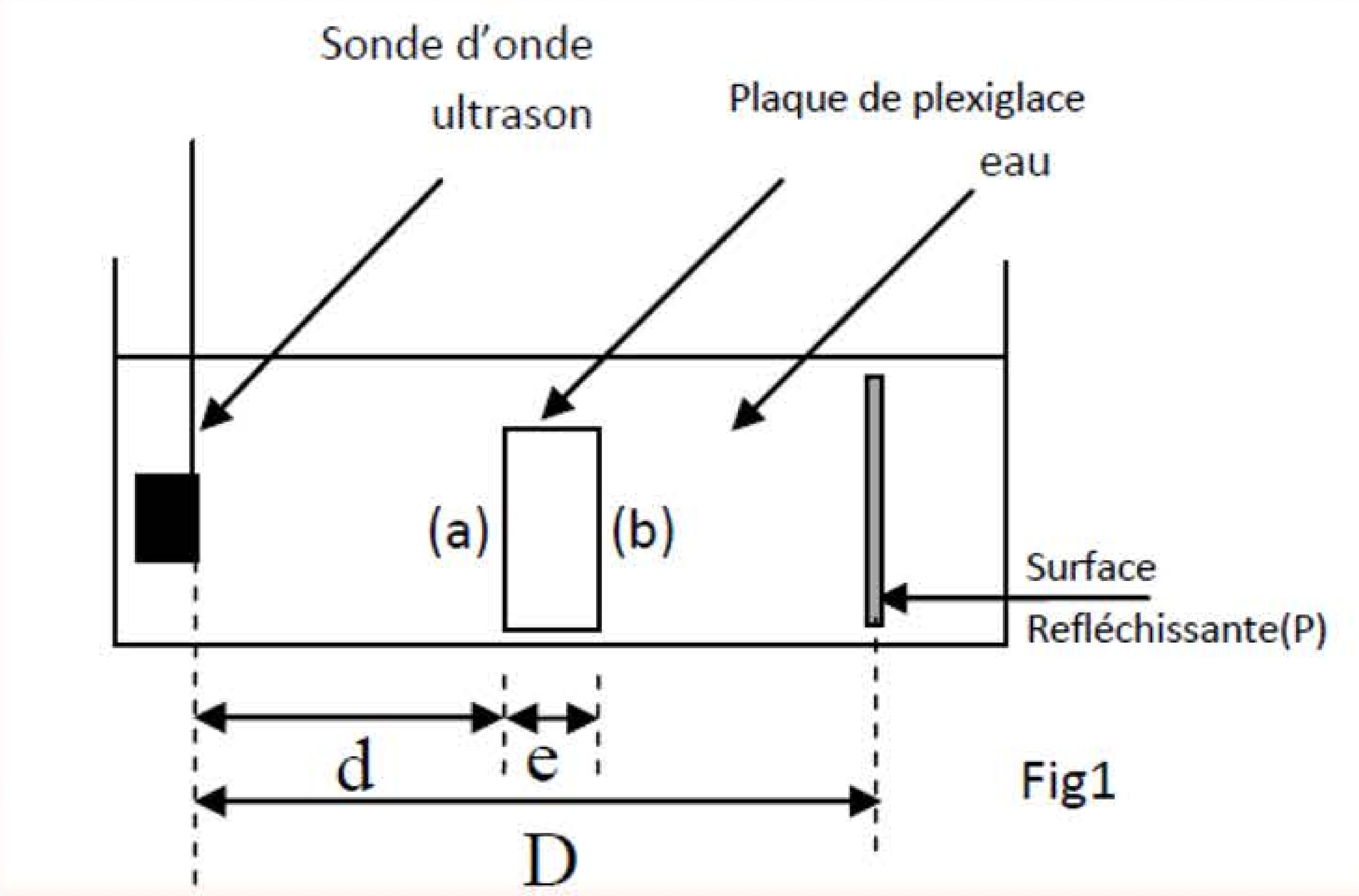


Fig1

1. En l'absence de la plaque du plexiglas, on obtient l'oscillogramme représenté dans la figure 2.

   Etablir que l'instant t_R auquel a été capté le signal réfléchi par la surface réfléchissante(P) s'écrit sous la forme $t_R = \frac{2D}{V}$, où v est la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore dans l'eau.

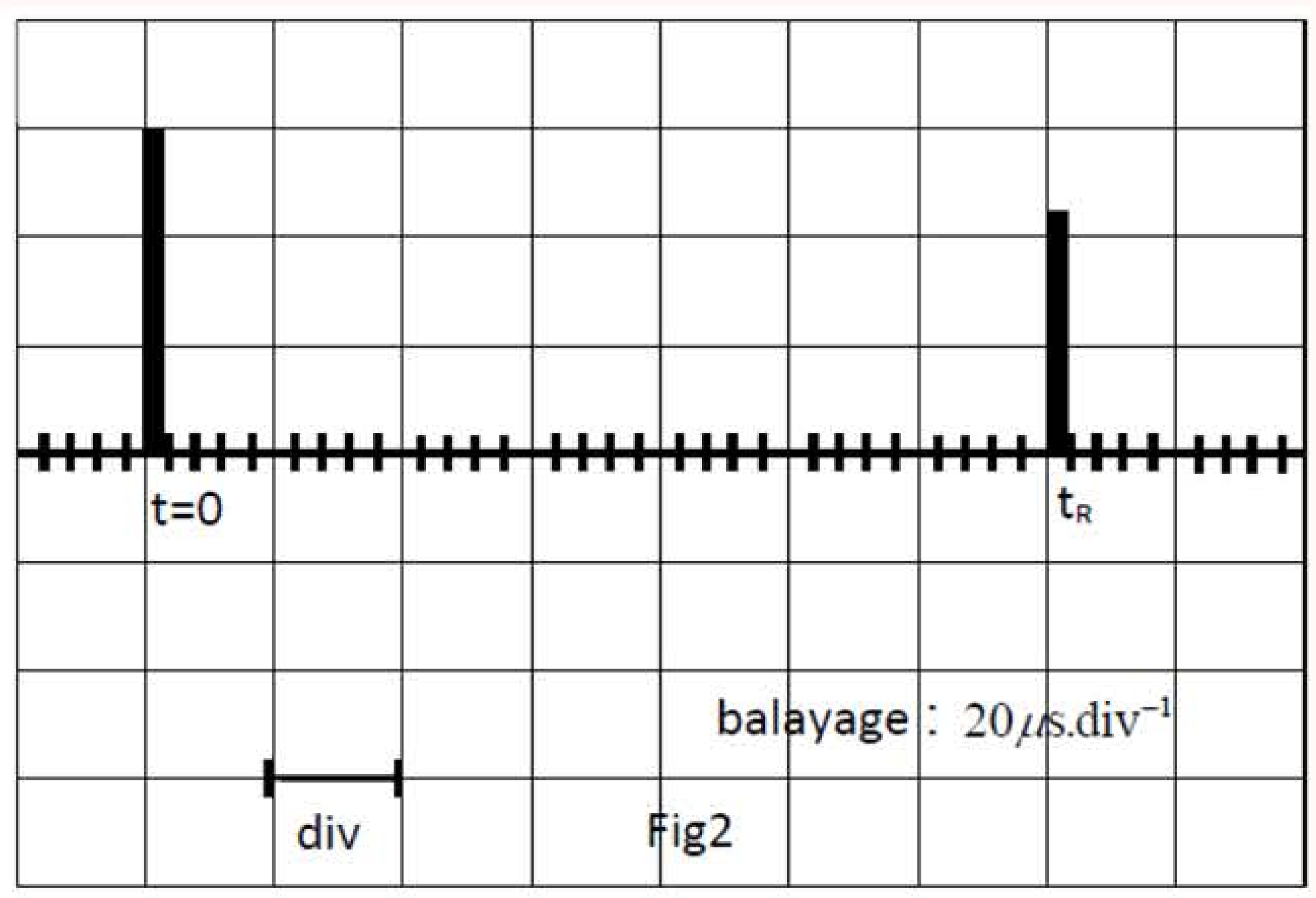


Fig2

2. En présence de la plaque de plexiglas ; on obtient l'oscillogramme de la figure 3. On représente par t_A et t_B les instants auxquels sont captés les signaux réfléchis successivement par la première surfaces (a) et la deuxième surface (b) de de la plaque de plexiglas.

   On représente par t'_R l'instant auquel a été captée l'onde réfléchie sur la surface réfléchissante (P).

   On représente la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore dans le plexiglas par v'.

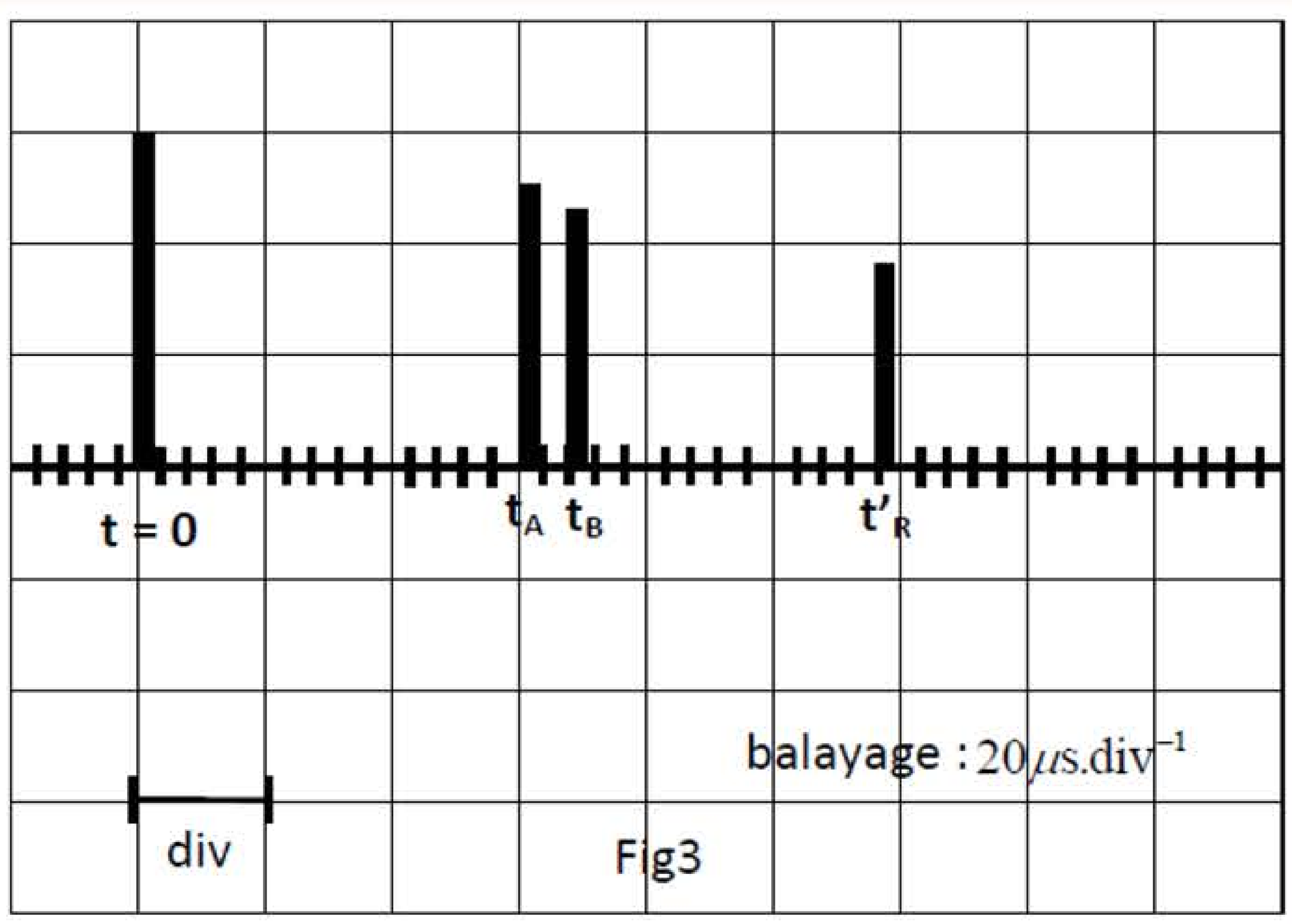


Fig3

   2.1. Dans quel milieu (eau ou plexiglas), La vitesse de propagation de l'onde est la plus Grande ? justifier la réponse.

   2.2. Exprimer t'_R en fonction de D, e, v et v'.

   2.3. Trouver l'expression de l'épaisseur e en fonction de v , t_R , t'_R, t_A et t_B.

Calculer la valeur de e sachant que la vitesse de propagation des ondes ultra-sonores dans l'eau est v $= 1,42 \times 10^3 m.s^{-1}$.

Exercice 6 : Vérification de la pureté d'une huile

La célérité du son dans une huile végétale dépend de sa pureté. La valeur de la célérité V_h du son dans une huile d'olive pure se situe entre $1595 m.s^{-1}$ et $1600 m.s^{-1}$.

Pour tester une huile d'olive au laboratoire, on utilise le montage de la figure 1 qui permet de comparer les durées de parcours d'une onde ultrasonore dans des milieux différents.

L'émetteur E d'ultrasons génère simultanément deux salves d'ondes. Les récepteurs A et B sont reliés à une interface d'acquisition qui déclenche l'enregistrement des signaux dès que le récepteur B détecte en premier les ultrasons. L'huile testée est disposée dans un tube en verre entre l'émetteur E et le récepteur B, tandis que l'air sépare l'émetteur E du récepteur A (figure 1).

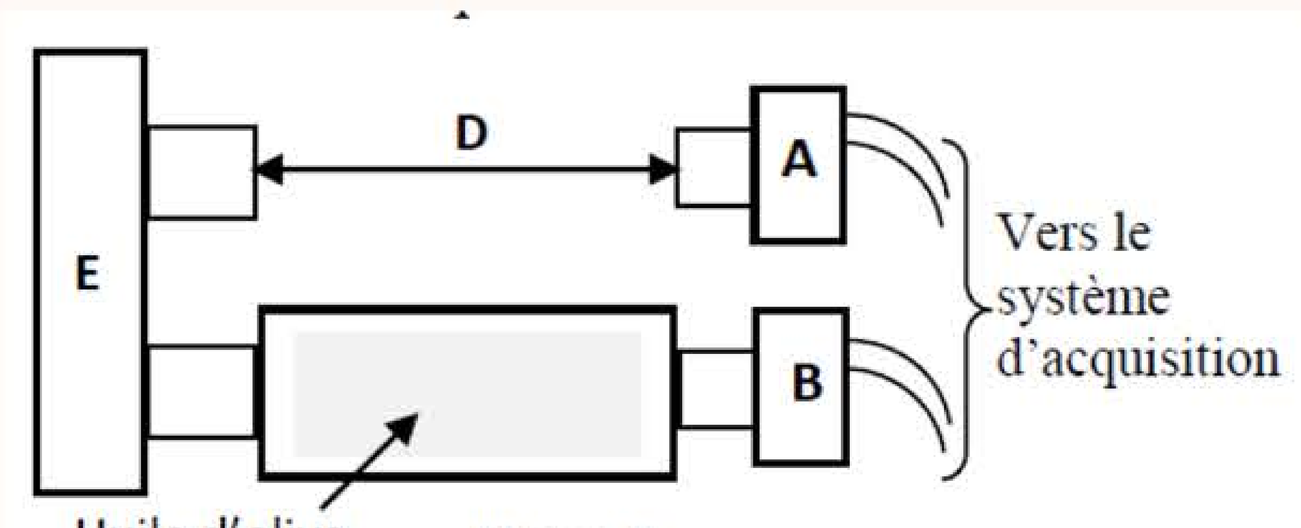


Figure 1

Pour chaque valeur D de la longueur du tube on mesure, par l'intermédiaire du système informatique, la durée Δt écoulée entre les deux signaux reçus en A et B.

À partir de ces mesures on obtient la courbe de la figure 2 représentant les variations de Δt en fonction de D : Δt = f(D).

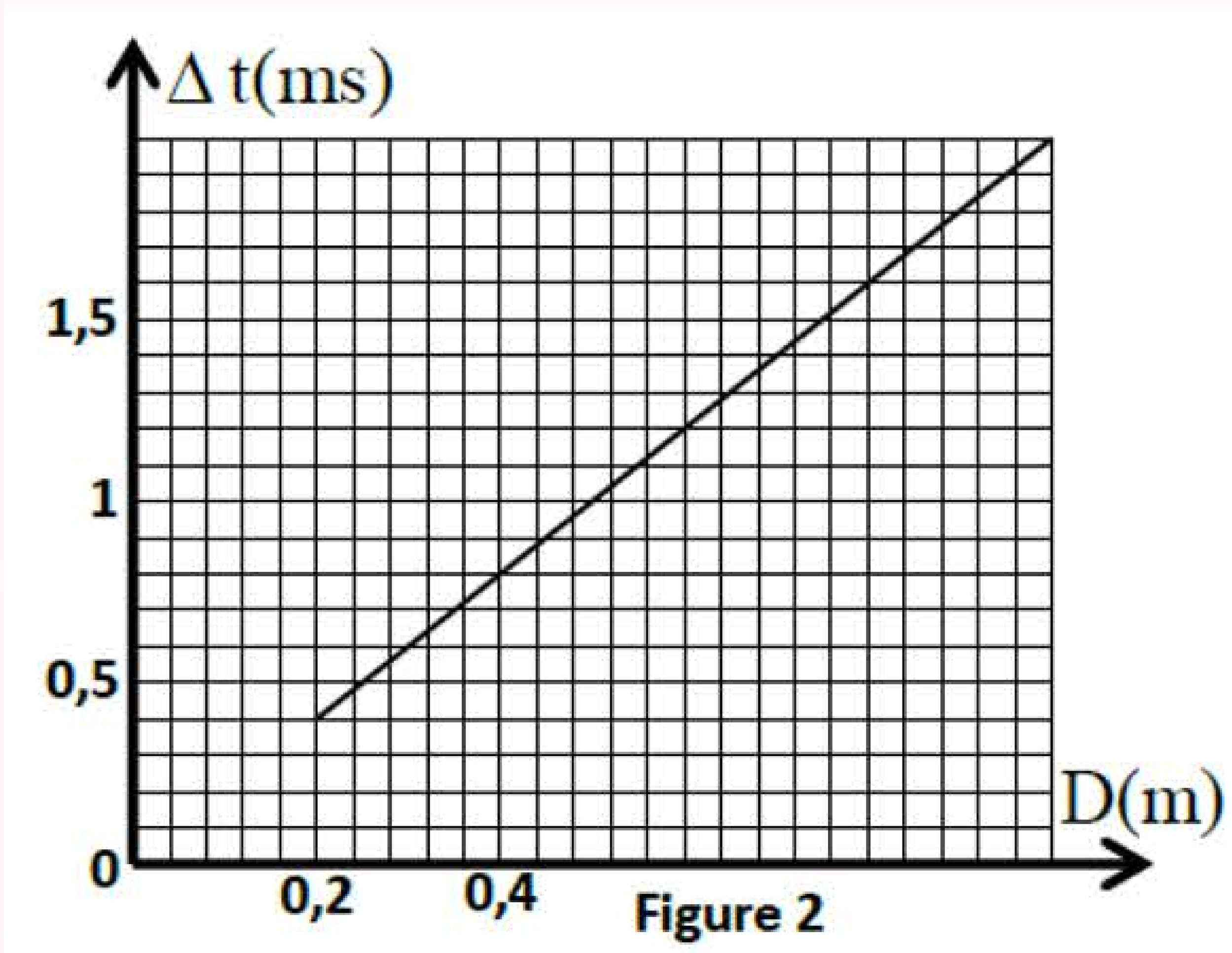


Figure 2

1. Les ondes ultrasonores sont-elles des ondes longitudinales ou transversales ? Justifier.
2. Les ultrasons utilisés dans l'expérience précédente ont une fréquence de 40 kHz. Leur célérité dans l'air est V_a $= 340 m.s^{-1}$.
   Calculer la distance parcourue par ces ultrasons dans l'air pendant une période.
3. Exprimer Δt en fonction de D, h V et V_a.
4. L'huile testée est-t-elle pure ? Justifier.

Exercice 1

Les vents créent aux larges des océans des vagues qui se propagent vers les côtes. Le but de cet exercice est d'étudier le mouvement de ces vagues.

On considère que les ondes se propageant à la surface des eaux des mers sont progressives et sinusoïdales de période T = 7 s.

1) L'onde étudiée est-elle longitudinale ou transversale ? Justifier.

2) Calculer V, la vitesse de propagation de ces ondes, sachant que la distance séparant deux crêtes consécutives est d = 70 m.

3) La figure 1 modélise une coupe verticale de l'aspect de la surface de l'eau à un instant t.

On néglige le phénomène de dispersion, et on considère S comme source de l'onde et M son front loin de S de la distance SM.

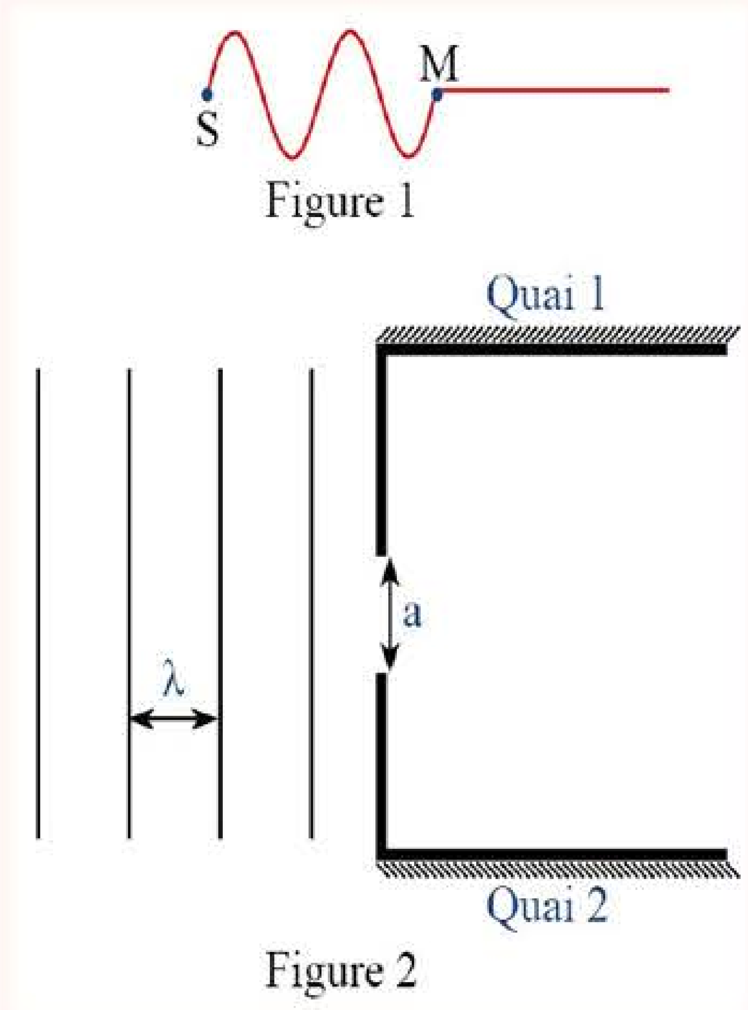
3) La figure 1 modélise une coupe verticale de l'aspect de la surface de l'eau à un instant t.

On néglige le phénomène de dispersion, et on considère S comme source de l'onde et M son front loin de S de la distance SM.

3. 1) A l'aide de la figure 1, écrire l'expression du retard temporel τ du mouvement de M par rapport à S en fonction de la longueur d'onde λ. Calculer la valeur de τ.

3. 2) Préciser, en justifiant, le sens du mouvement de M à l'instant où l'onde l'atteint.

4) les ondes arrivent à un portail de largeur a = 60 m situé entre deux quais d'un port (Figure 2). Recopier le schéma de la figure 2, et représenter dessus les ondes après la traversée du portail, et donner le nom du phénomène observé.



Exercice 2 : Propagation d'une onde mécanique à la surface de l'eau

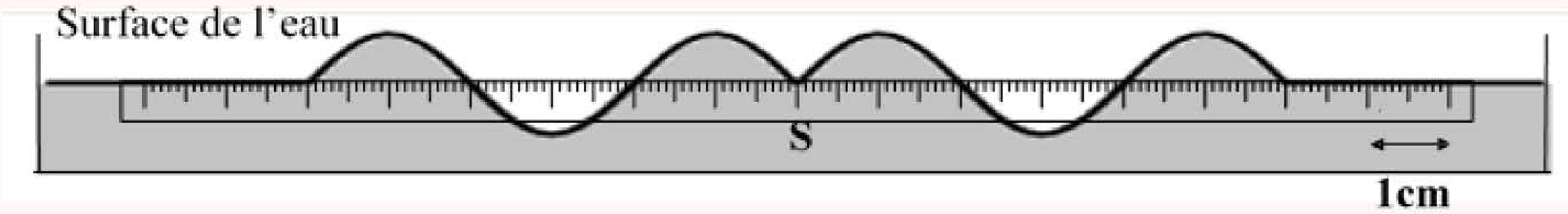
On crée, à l'instant t_0 , en un point S de la surface de l'eau, une onde mécanique progressive sinusoïdale de fréquence N = 50 Hz.

La figure ci-dessous représente une coupe verticale de la surface de l'eau à un instant t. La règle graduée sur le schéma indique l'échelle utilisée.

Déterminer :

1. Longueur d'onde λ,
2. La vitesse de propagation de l'onde à la surface de l'eau,
3. L'instant t, où la coupe de la surface de l'eau est représentée,
4. On considère un point M de la surface de l'eau, éloigné de la source S d'une distance SM=6cm. Le point M reprend le même mouvement que celui de S avec un retard temporel τ. écrire la

relation entre l'élongation du point M et celle de la source S ?



Exercice 3 : ondes ultrasonores

Les ondes ultrasonores sont des ondes de fréquence supérieure à celle des ondes sonores audibles par l'homme. Elles sont exploitées dans plusieurs domaines, comme l'échographie.
Le but de cet exercice est :

- L'étude de la propagation des ondes ultrasonores ;
- Détermination des dimensions d'un tube métallique.

1. Propagation des ondes mécaniques :
   1.1. Ecrire la définition de l'onde mécanique progressive.
   1.2. Quelle est la différence entre l'onde mécanique longitudinale et l'onde mécanique transversale ?
   1.3. Propagation des ondes ultra-sonores dans l'eau :
   On pose un émetteur E et deux récepteurs R_1 et R_2 des ondes ultra-sonores dans une cuve remplie d'eau, de façon à ce que l'émetteur et les deux récepteurs sont alignés suivant une règle graduée (Figure 1).

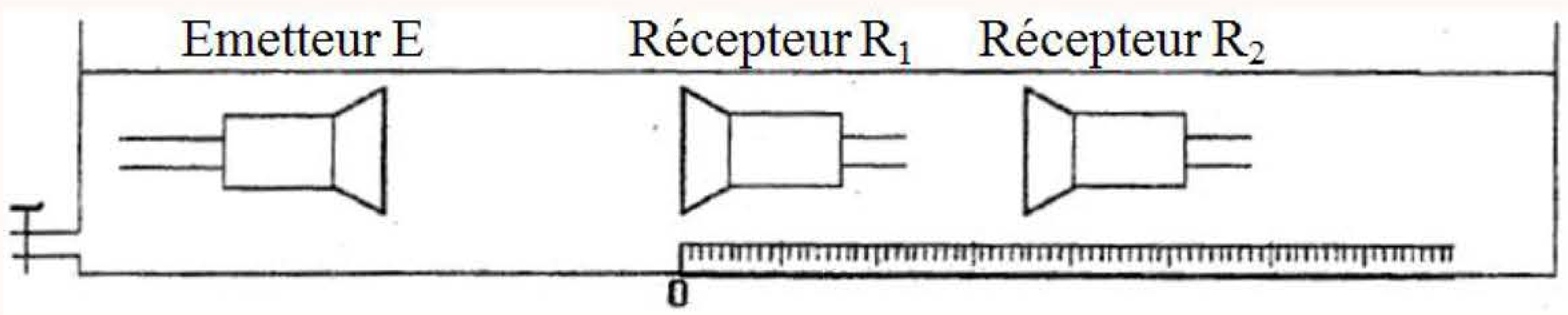


Figure 1

L'émetteur émet une onde ultrasonore qui se propage dans l'eau et arrive aux récepteurs R_1 et R_2. Les deux signaux captés par les deux récepteurs R_1 et R_2, sont appliques successivement aux entrées d'un oscilloscope.
Lorsque les deux récepteurs R_1 et R_2 se trouvent au zéro de la règle, on constate sur l'écran de l'oscilloscope l'oscillogramme représenté sur la figure 2, où les deux courbes correspondant aux signaux captés par R_1 et R_2 sont en phases.
La sensibilité horizontale est fixée sur $5\mu s.div^{-1}$.
On éloigne R_2 suivant la règle graduée, on constate que la courbe correspondante au signal capté par R_2 est décalée vers la droite. Les deux signaux captés par R_1 et R_2 deviennent à nouveau en phase, lorsque la distance entre R_1 et R_2 est d = 3 cm.

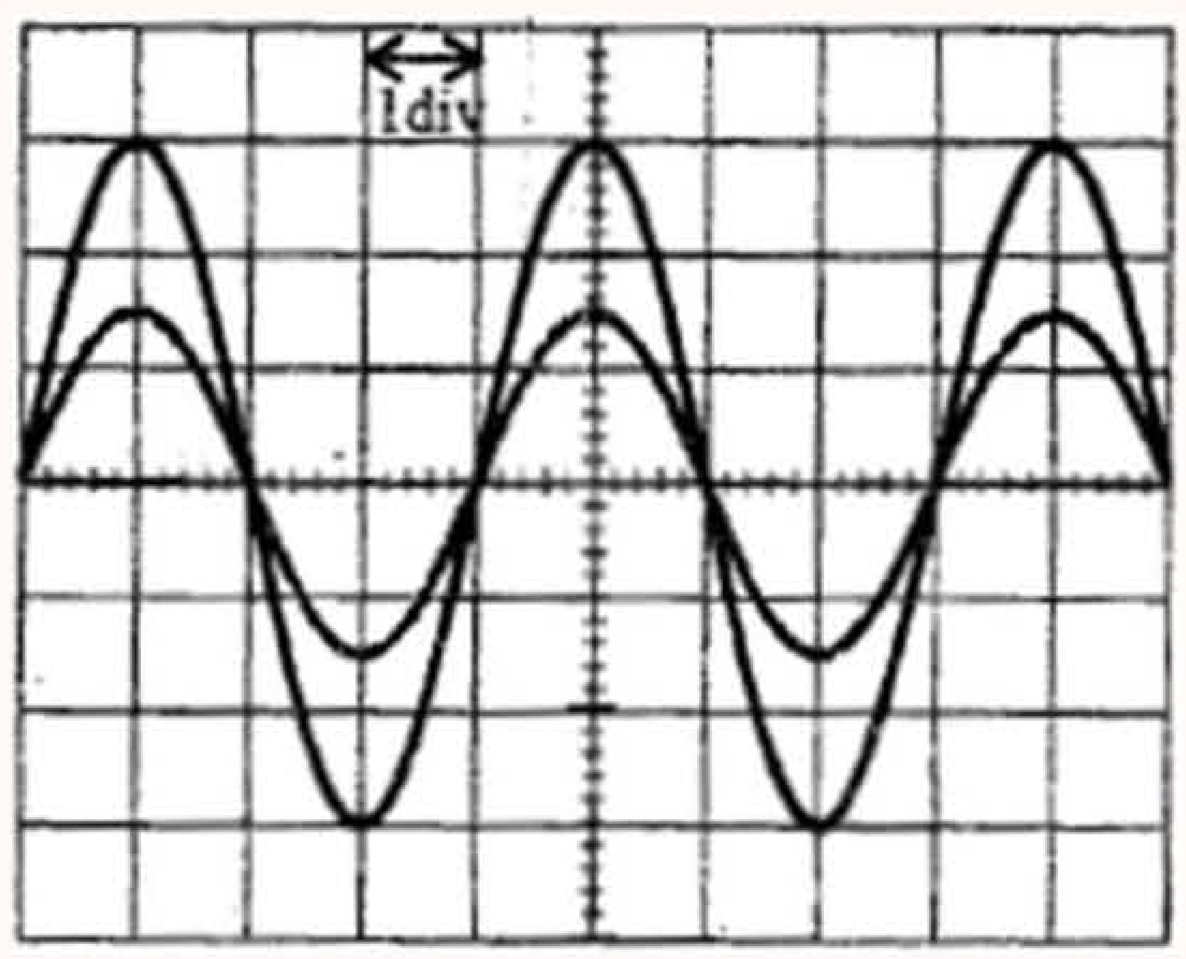


Figure 2

1.3.1. Ecrire la définition de la longueur d'onde λ.

1.3.2. Ecrire la relation entre la longueur d'onde λ, la fréquence N des ultrasons et sa célérité de propagation dans un milieu quelconque.

1.3.3. En déduire de cette expérience, la valeur Ve de la célérité de propagation des ultrasons dans l'eau.

1.4. Propagation des ultrasons dans l'air : On conserve le même dispositif précédent (d = 3 cm), et on vide la cuve, le milieu de propagation des ultrasons devient ainsi l'air. On observe que les deux courbes correspondant aux signaux captés par R1 et R2 ne sont plus en phases.

a) Expliquer le phénomène observé.

b) Calculer la valeur minimale de la distance de laquelle il faut éloigner le récepteur R_2 pour que les deux signaux deviennent à nouveau en phase.
On donne : La célérité de propagation des ultrasons dans l'air $V_a = 340 m.s^{-1}$.

2. Utilisation des ultrasons pour mesurer les dimensions d'un tube métallique.

Une sonde jouant le rôle d'un émetteur et récepteur, émet une onde ultra-sonore de courte durée dans une direction normale à l'axe du tube cylindrique (Figure 3).
Cette onde traverse le tube et se réfléchit à chaque changement de milieu de propagation, pour revenir à la sonde, qui la transforme en signal électrique de courte durée.
On visualise à l'aide d'un oscilloscope à mémoire, les signaux émis et reçus.

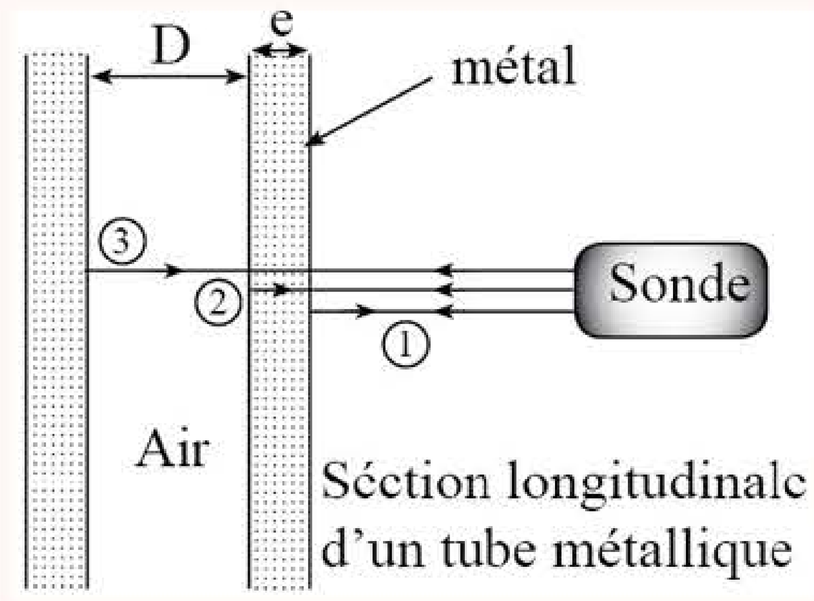


Figure 3

L'oscillogramme obtenu au cour du test fait sur le tube, a permis de tracer le diagramme de la figure 4.
On observe des raies sous forme de pics verticaux : P_0, P_1, P_2, P_3. Figure 4.

- P_0 : correspond à l'instant de l'émission.
- P_1 : correspond à l'instant de la réception, par la sonde, de l'onde réfléchie ❶ .
- P_2 : correspond à l'instant de la réception, par la sonde, de l'onde réfléchie ❷.
- P_3 : correspond à l'instant de la réception, par la sonde, de l'onde réfléchie ❸.
  On donne : la vitesse de propagation des ultrasons :
- Dans le métal du tube : $v_m = 1,00.10^4 m.s^{-1}$
- Dans l'air : $v_a = 340 m.s^{-1}$.

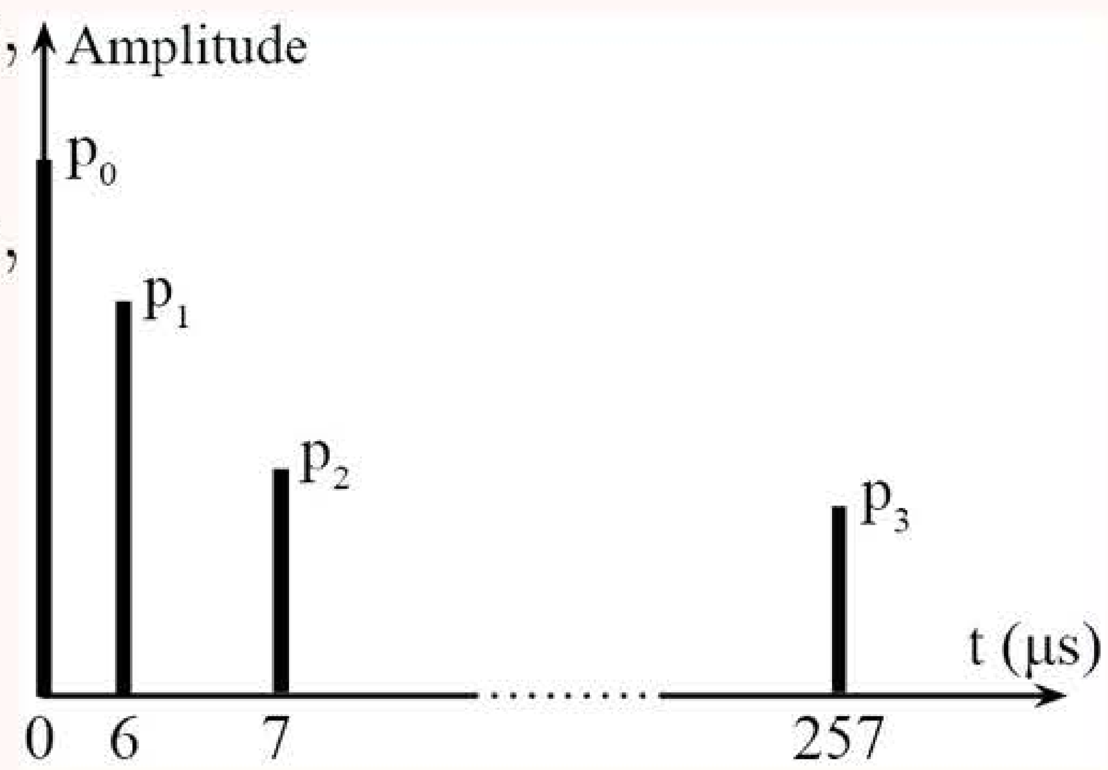


Figure 4

2.1. Trouver l'épaisseur e du métal du tube;

2.2. Trouver la valeur D du diamètre interne du tube.

Exercice 4 : Propagation d'une onde ultrasonore

On trouve parmi les applications des ondes ultrasonores, l'exploration du relief des fonds marins et la localisation des regroupements de poissons, ce qui nécessite la connaissance de la vitesse de propagation de ces ondes dans l'eau de mer.
Le but de cet exercice est de déterminer la vitesse de propagation d'une onde ultrasonore dans l'air et dans l'eau de mer.

1. Détermination de la vitesse de propagation d'une onde ultrasonore dans l'air

On place un émetteur E d'ondes ultrasonores et deux récepteurs R_1 et R_2 comme l'indique la figure 1.

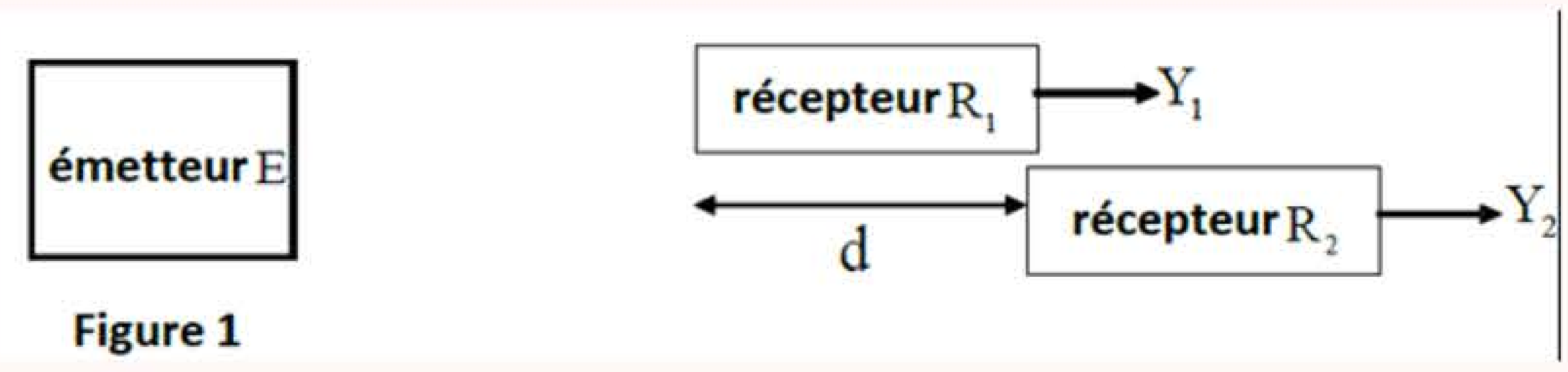


Figure 1

L'émetteur E envoie une onde ultrasonore progressive sinusoïdale qui se propage dans l'air. Celle-ci est captée par les deux récepteurs R_1 et R_2. On visualise, à l'oscilloscope, sur la voie Y_1 le signal capté par R_1 et sur la voie Y_2 le signal capté par R_2.

Lorsque les deux récepteurs R_1 et R_2 se trouvent à la même distance de l'émetteur E, les deux courbes correspondant aux signaux captés sont en phase (figure 2).
En éloignant R_2 de R_1, on constate que les deux courbes ne restent plus en phase.
En continuant d'éloigner R_2 de R_1, on constate que les deux courbes se retrouvent à nouveau en phase et pour la quatrième fois, lorsque la distance entre les deux récepteurs R_1 et R_2 est d = 3,4cm (figure 1).

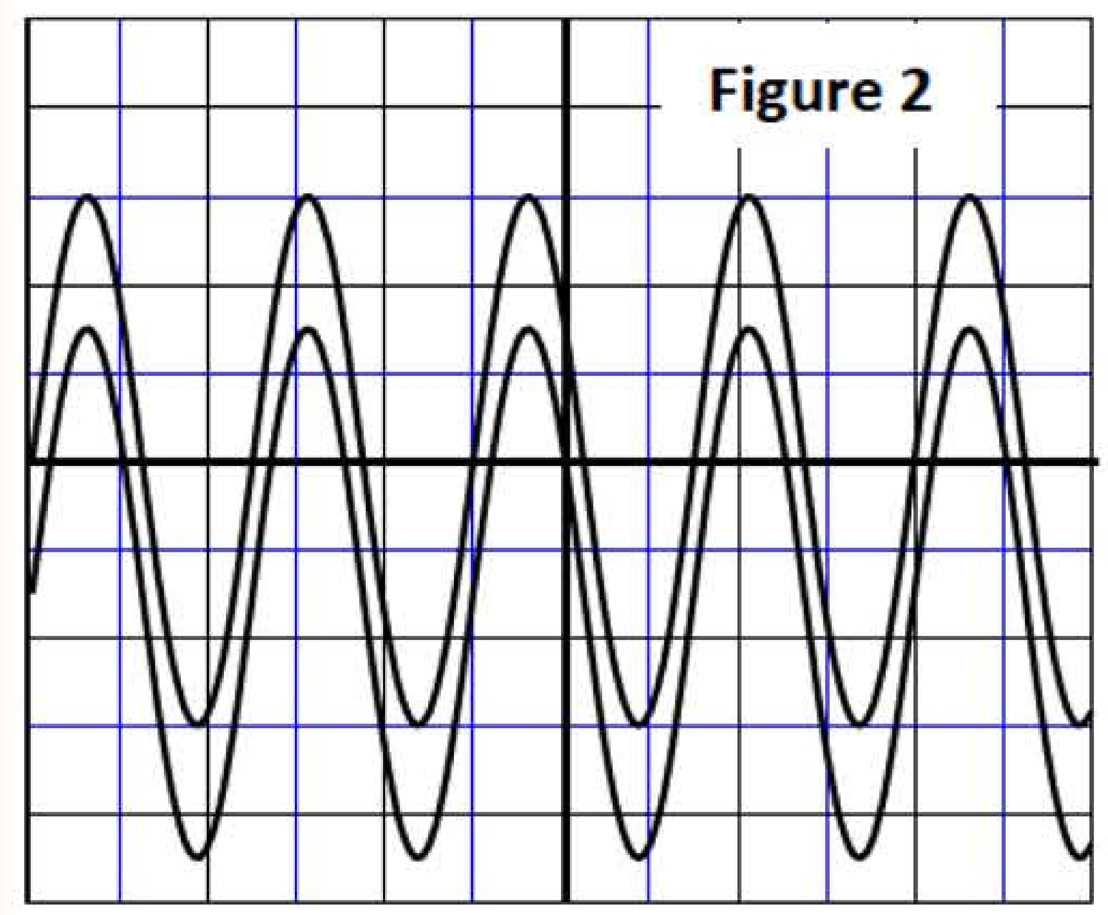


Figure 2

$S_H = 10\,\mu s.div^{-1}$

1.1. Choisir la proposition juste, parmi les propositions suivantes :
   a) Les ondes ultrasonores sont des ondes électromagnétiques.
   b) Les ondes ultrasonores ne se propagent pas dans le vide.
   c) Le phénomène de diffraction ne peut pas être obtenu par les ondes ultrasonores.
   d) Les ondes ultrasonores se propagent dans l'air avec une vitesse égale à la célérité de la lumière.

1.2. Déterminer la fréquence N de l'onde ultrasonore étudiée.

1.3. Vérifier que la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore dans l'air est $V_a = 340 m.s^{-1}$

2. Détermination de la vitesse de propagation d'une onde ultrasonore dans l'eau de mer :
L'émetteur envoie l'onde ultrasonore précédente dans deux tubes, l'un contenant de l'air et l'autre étant rempli d'eau de mer(figure 3).

Le récepteur R_1 capte l'onde qui se propage dans l'air et le récepteur R_2 capte l'onde qui se propage dans l'eau de mer.

Figure 3

Soient Δt le retard temporel de réception de l'onde qui se propage dans l'air par rapport à celle qui se propage dans l'eau de mer et ℓ la distance entre l'émetteur et les deux récepteurs.

En mesurant le retard Δt pour différentes distances ℓ entre l'émetteur et les deux récepteurs (figure 3), on obtient la courbe de la figure 4.

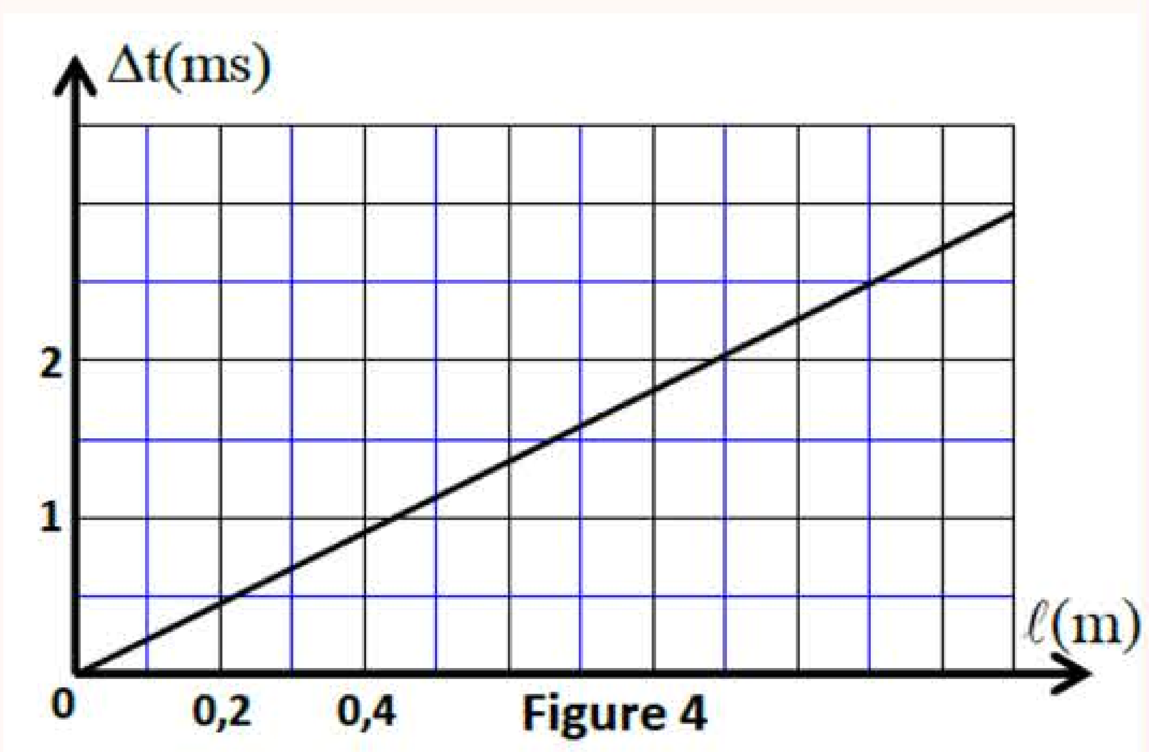


Figure 4

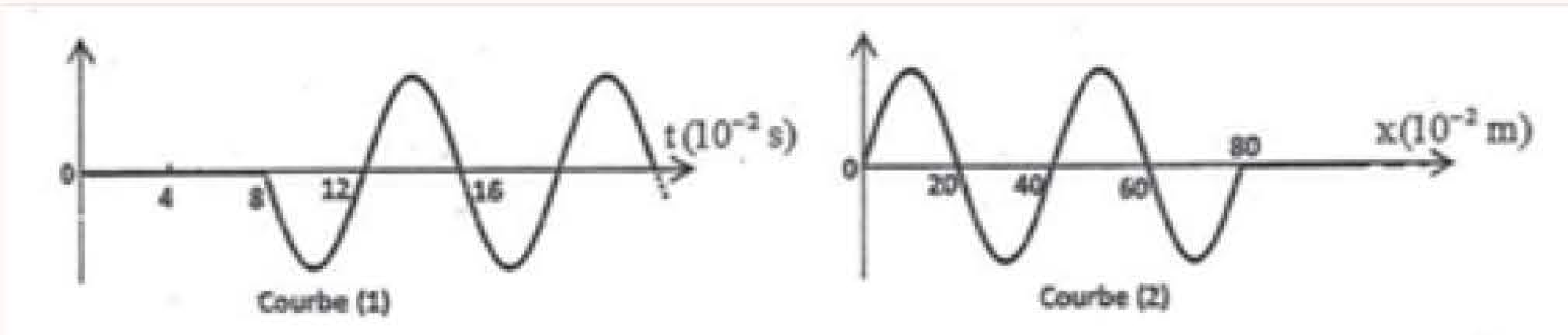
2.1. Exprimer Δt en fonction de ℓ, V_a et V_e vitesse de propagation de l'onde dans l'eau de mer.

2.2. Déterminer la valeur de V_e.

Exercice 5 : Propagation d'une onde le long d'une corde

Une lame vibrante en mouvement sinusoïdale de fréquence N, fixée à l'extrémité d'une corde élastique SA très longue et tendue horizontalement, génère le long de celle-ci une onde progressive périodique non amortie de célérité v. un dispositif approprié, placé en A, empêche toute réflexion des ondes. Le mouvement de S débute à l'instant t = 0.

Les courbes (1) et (2) de la figure ci-dessous représentent l'élongation d'un point M de la corde, situé à la distance d de S, et l'aspect de la corde à un instant t_1.



1. Identifier, en justifiant, la courbe représentant l'aspect de la corde à l'instant t_1.
2. Donner le nombre d'affirmations justes parmi les affirmations suivantes :
   a) Le phénomène de diffraction ne se produit jamais pour une onde mécanique,
   b) Les ondes progressives périodiques sinusoïdales se caractérisent par une périodicité temporelle et une périodicité spatiale.
   c) L'onde qui se propage le long de la corde est une onde longitudinale.
   d) La vitesse de propagation d'une onde mécanique ne dépend pas de l'amplitude de l'onde ?
3. Par exploitation des courbes précédentes, déterminer :
   3.1. La longueur d'onde λ, la période T et la célérité v de l'onde.
   3.2. Le retard τ du point M par rapport à la source S de l'onde et déduire la distance d.
4. On donne la relation qui lie la célérité v de l'onde, la tension F de la corde et sa masse linéique μ (quotient de la masse sur la longueur) : $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$.
   4.1. En utilisant les équations aux dimensions, vérifier l'homogénéité de la relation précédente.
   4.2. La corde est-elle un milieu dispersif ? justifier.
   4.3. On double la tension F de la corde (F'= 2F) sans modifier la fréquence N. déterminer dans ce cas la longueur d'onde λ'.