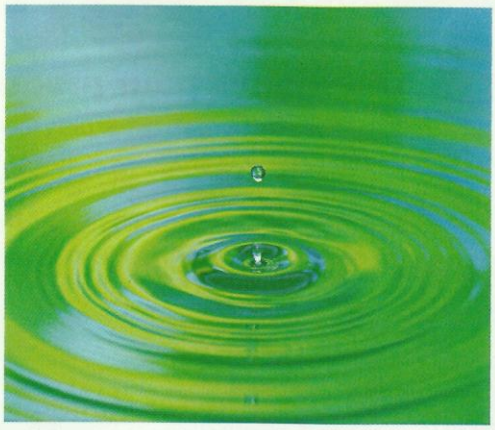
Talamid.ma : هذا الملف تم تحميله من موقع

Physique 2 : Les ondes mécaniques progressives

Une pierre tombant sur la surface d'un étang provoque des vagues circulaires qui se propagent à la surface de l'eau [Doc. 1]. Un tremblement de Terre engendre des secousses sismiques parfois dévastatrices, qui se propagent dans l'écorce terrestre. Ce sont deux exemples d'ondes mécaniques.



Doc. 1 *L'onde progressive est formée de vagues se propageant à la surface de l'eau.*

1. Qu'est-ce qu'une onde mécanique ?

Étudions la propagation d'une vague à la surface de l'eau. Existe-t-il un transport de matière lors de cette propagation ?

Activité 1

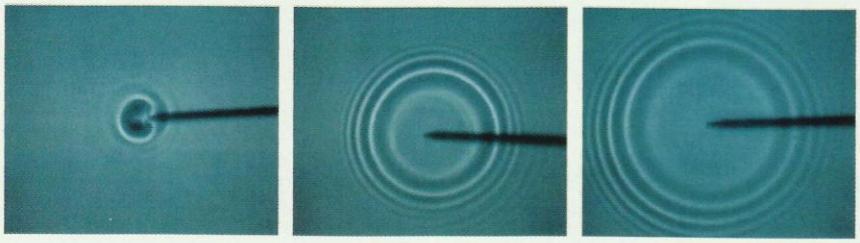
Comment se propage une onde à la surface de l'eau ?

- Déposer un morceau de liège sur la surface de l'eau contenue dans une cuve.
- Laisser tomber une goutte d'eau dans la cuve et observer.

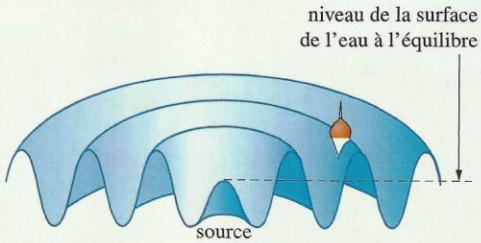
1. *Le morceau de liège est-il entraîné vers l'un des bords de la cuve ?*
2. *Donner une description de ce qui se propage à la surface de l'eau après la chute de la goutte.*

> Observation

La chute de la goutte d'eau donne naissance à une perturbation formée de plusieurs vagues circulaires centrées sur le point d'impact [Doc. 2]. L'avant de la perturbation, appelé front, atteint le morceau de liège qui subit un mouvement de va-et-vient selon la verticale, sans être entraîné vers les bords de la cuve [Doc. 3].



Doc. 2 *Une vague circulaire s'élargit au cours du temps.*



Doc. 3 *Le bouchon se déplace verticalement au passage de la perturbation.*

> Interprétation

Le choc de la goutte d'eau provoque une perturbation déformant la surface de l'eau. Ce phénomène est **mécanique**.

À partir du « point source », la perturbation se propage à la surface de l'eau dans toutes les directions qui lui sont offertes. Elle affecte tour à tour les différents points de la surface. La surface de l'eau est le **milieu de propagation**. C'est un **milieu élastique** qui reprend sa forme plane horizontale après le passage de la déformation.

Un milieu élastique reprend sa forme lorsque cesse la cause de la déformation.

- **On appelle onde mécanique le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu élastique, sans transport de matière, mais avec transport d'énergie.**
- **Une onde mécanique se propage, à partir de la source, dans toutes les directions qui lui sont offertes.**

À la surface des océans, la houle est une onde mécanique. Elle transporte de l'énergie (voir l'*activité préparatoire A*, page 17).

> Pour s'entraîner : Ex. 1

Talamid.ma : للمزيد من الملفات قم بزيارة الموقع

Talamid.ma : هذا الملف تم تحميله من موقع

2. Quels sont les différents types d'ondes mécaniques ?

Dans l'*activité* 1, la perturbation due à l'onde qui se propage à la surface de l'eau provoque un mouvement du morceau de liège ; ce mouvement est perpendiculaire à la direction de propagation.

En est-il de même pour toutes les ondes mécaniques ?

2.1 Les ondes transversales

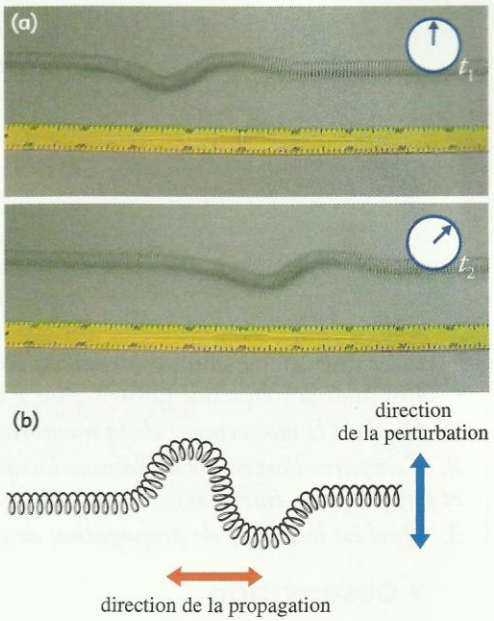
Provoquons une secousse brève à l'extrémité d'un long ressort, dans une direction perpendiculaire à celui-ci.

Nous constatons qu'une déformation se propage le long du ressort [Doc. 4a].

Le mouvement d'un point affecté par le passage de l'onde se produit dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation [Doc. 4b]. L'onde qui se propage est dite **transversale**.

Une onde transversale provoque une perturbation dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.

Les ondes qui se propagent à la surface de l'eau sont aussi transversales.



Doc. 4 *Onde transversale se propageant le long d'un ressort.*

2.2 Les ondes longitudinales

Une onde longitudinale le long d'un ressort

La perturbation qui se propage le long d'un ressort est-elle nécessairement transversale ?

Activité 2

Comment se propage une compression le long d'un ressort ?

- Tendre horizontalement un ressort de grande longueur.
- Comprimer quelques spires, puis les relâcher [Doc. 5].

1. *Décrire le phénomène.*
2. *Comparer les directions de propagation et de déplacement des spires.*

> Observation

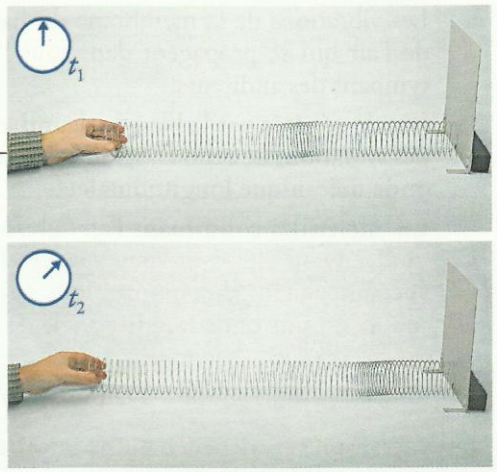
Nous observons une zone où les spires sont resserrées. Cette déformation du ressort progresse, de proche en proche, le long du ressort [Doc. 6].

> Interprétation

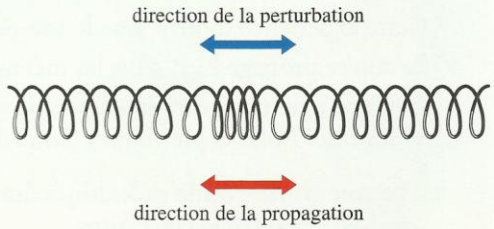
Le resserrement des spires (ou compression) provoqué à l'extrémité du ressort se déplace. De part et d'autre de cette zone de compression, nous observons deux zones de dilatation. Chaque spire subit, par rapport à sa position d'équilibre, un mouvement de va-et-vient selon une direction parallèle à la direction de propagation de l'onde : l'onde est dite **longitudinale**.

Le milieu de propagation de l'onde est élastique : les spires, une fois la perturbation passée, reprennent leurs positions antérieures ; il n'y a pas de transport de matière.

Une onde longitudinale provoque une perturbation dans une direction parallèle à celle de la propagation de l'onde.



Doc. 5 *Propagation (de gauche à droite) d'une onde longitudinale le long d'un ressort.*



Doc. 6 *Une zone de compression des spires se propage le long du ressort.*

Talamid.ma : للمزيد من الملفات قم بزيارة الموقع

Talamid.ma : هذا الملف تم تحميله من موقع

Les ondes sonores

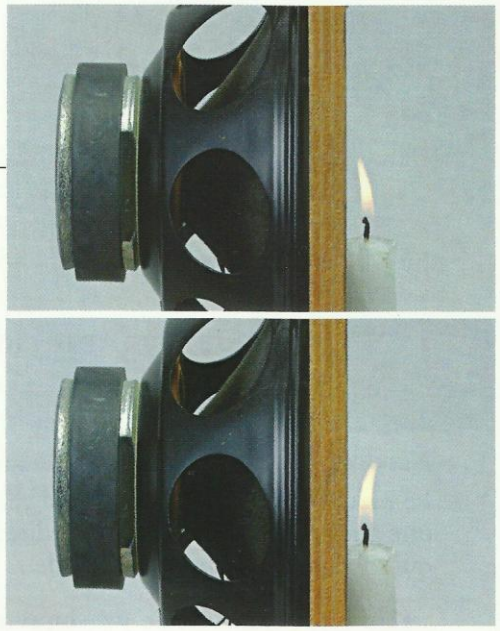
Un architecte romain du début de l'ère chrétienne comparait le son à « des vagues d'eau qui se déplacent dans l'espace, onde après onde ».

Activité 3

Comment se propage une onde sonore ?

- Alimenter un boomer, c'est-à-dire un haut-parleur destiné à la production de sons graves, avec un générateur basse fréquence (ou G.B.F.) fournissant un courant alternatif de fréquence réglable *[Doc. 7]*.
- Régler la fréquence pour obtenir un son grave (quelques dizaines de hertz).
- Placer une bougie allumée devant la membrane verticale du haut-parleur.
- Diminuer la fréquence jusqu'à 1 ou 2 hertz et observer la flamme.

1. *Quel est le mouvement de la membrane du haut-parleur ?*
2. *Comparer l'aspect de la flamme lorsque le haut-parleur émet un son et lorsqu'il n'en émet pas.*
3. *Quel est le milieu de propagation de ces ondes sonores ?*



Doc. 7 *Les ondes sonores provoquent des vibrations horizontales de la flamme.*

> Observation

La membrane du haut-parleur effectue un mouvement de va-et-vient selon la fréquence du courant fourni par le générateur B.F.

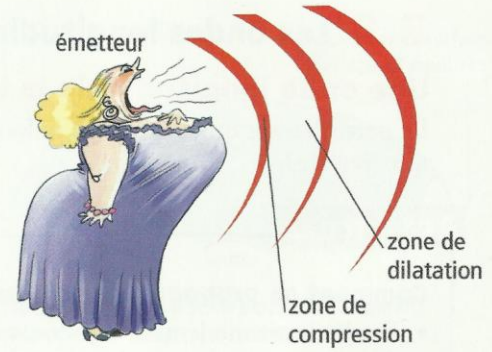
Lorsque la fréquence est faible (un son grave), la flamme est le siège de perturbations longitudinales *[Doc. 7]*.

> Interprétation

Les vibrations de la membrane du haut-parleur provoquent des vibrations de l'air qui se propagent dans tout l'espace environnant et atteignent les tympans des auditeurs.

L'onde générée par le haut-parleur dans la direction de la flamme provoque des vibrations de celle-ci, selon cette même direction : **l'onde sonore est une onde mécanique longitudinale.**

Les molécules constituant l'air subissent, au passage de l'onde sonore, des mouvements de va-et-vient longitudinaux. Ces mouvements d'ensemble s'accompagnent de compressions suivies de dépressions *[Doc. 8]*. L'onde sonore est une **onde longitudinale de compression-dilatation.**



Doc. 8 *Propagation d'une onde sonore : les zones en rouge correspondent à des compressions.*

Une fois la perturbation passée, l'air retrouve son état antérieur : c'est un milieu élastique propice à la propagation des ondes sonores.

>Réalisons l'expérience du ***document 9***. Un buzzer et un sonomètre sont placés sous une cloche reliée à une pompe à vide.

- Dans un premier temps, la cloche contient de l'air.

Lorsque le buzzer est actionné, le sonomètre capte un son.

- Dans un second temps, on fait le vide sous la cloche.

Lorsque le buzzer est actionné, le sonomètre ne capte plus de son.

Cette expérience montre que le son ne se propage pas dans le vide.

Le son se propage bien dans les métaux et dans les liquides.

Certains matériaux non élastiques ne se prêtent pas à la propagation du son : ce sont des isolants phoniques (laine de roche, polystyrène...).

Le son est une onde mécanique longitudinale se propageant dans les milieux matériels élastiques.

> *Pour s'entraîner : Ex. 2*



Doc. 9 *Dispositif expérimental pour étudier la propagation du son.*

Talamid.ma : للمزيد من الملفات قم بزيارة الموقع

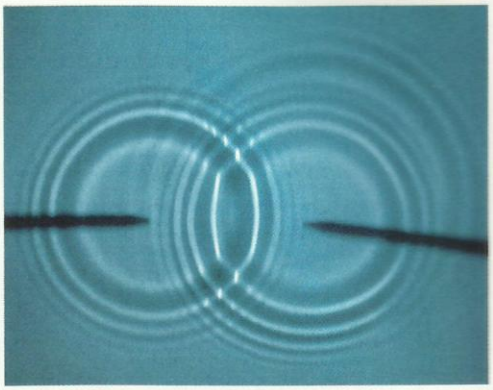
Talamid.ma : هذا الملف تم تحميله من موقع

3. Quelles sont les caractéristiques de la propagation d'une onde progressive ?

3.1 Croisement de deux ondes

Il est possible d'avoir des conversations croisées entre plusieurs personnes : les ondes sonores émises par l'un des interlocuteurs ne sont pas affectées par les ondes sonores émises par les autres, lorsqu'elles se croisent.

De même, si nous provoquons des déformations transversales, simultanément, en chacune des extrémités d'un long ressort, les ondes se croisent sans subir de modification. Après leur rencontre, leurs formes respectives restent inchangées. Nous observons le même phénomène avec des ondes se propageant à la surface de l'eau *[Doc. 10]*.



Doc. 10 *Croisement de deux ondes transversales à la surface de l'eau.*

Deux ondes peuvent se croiser sans se perturber.

3.2 Vitesse de propagation d'une onde

Déterminons la vitesse de propagation d'une onde transversale le long d'une corde.

Si d est la distance parcourue par l'onde et Δt la durée de la propagation, on définit une vitesse moyenne de propagation par la relation :

$$\vartheta = \frac{d}{\Delta t}.$$

Avec d en mètre, Δt en seconde, ϑ s'exprime en mètre par seconde ($m \cdot s^{-1}$).

La vitesse de propagation d'une onde est aussi appelée **célérité**.

De quels paramètres dépend la vitesse de propagation ?

Activité 4

Quelle est l'influence des caractéristiques du milieu sur la célérité d'une onde ?

• Sur la corde du *document 11* sont fixés deux cavaliers.

Une onde transversale est émise à l'une des extrémités de la corde. Au passage de l'onde, le mouvement de chaque cavalier est perçu par un photocapteur relié à un chronomètre.

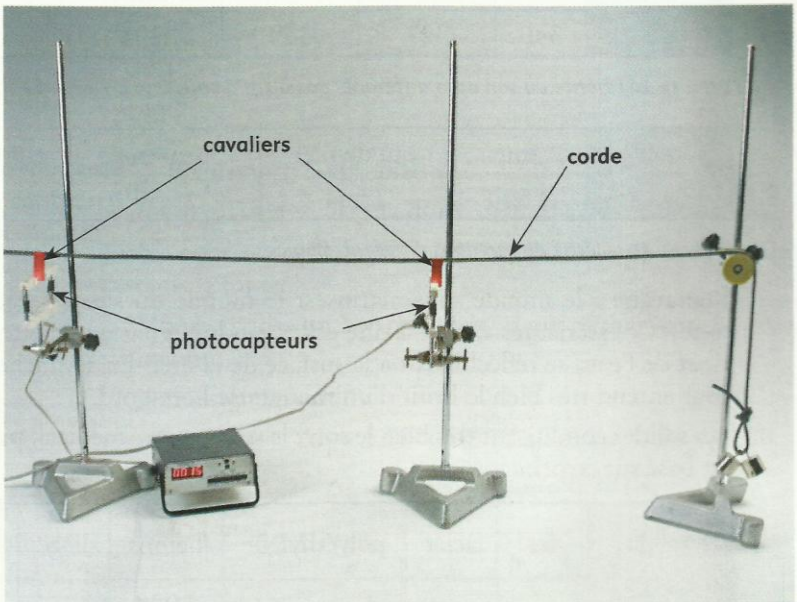
Ce montage permet de mesurer la durée de propagation de l'onde le long de la corde entre les deux cavaliers.

• Réaliser plusieurs mesures de durée de propagation de l'onde en modifiant la tension de la corde, puis en changeant de corde (corde plus ou moins grosse).

1. Quelle mesure préalable est nécessaire pour pouvoir calculer la célérité à partir de l'indication du chronomètre ?

2. La vitesse de propagation dépend-elle :

- *de la tension de la corde ?*
- *de sa masse par unité de longueur ?*



Doc. 11 *Deux cavaliers sont placés sur la corde tendue, en face de deux photocapteurs. Une masse marquée suspendue à l'extrémité de la corde, qui repose sur une poulie, permet de régler la tension de la corde.*

Talamid.ma : للمزيد من الملفات قم بزيارة الموقع

Talamid.ma : هذا الملف تم تحميله من موقع

> Observation

Pour une corde et une tension données, nous obtenons toujours la même durée de propagation de l'onde entre les deux cavaliers maintenus à une distance constante l'un de l'autre.

Cette valeur est indépendante de la forme et de l'amplitude de l'onde.

Si nous augmentons la tension de la corde, la durée diminue ; par conséquent, la célérité augmente.

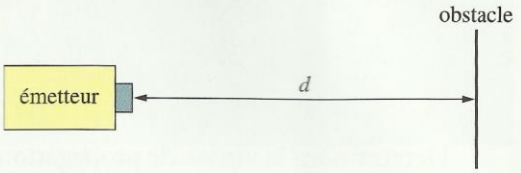
Pour une même tension, nous remarquons que cette durée dépend de la corde choisie (plus la corde est grosse, c'est-à-dire plus sa masse linéique est grande, plus la durée de propagation est grande, et la célérité faible).

> Interprétation

La célérité de l'onde dépend de la tension de la corde et de la masse linéique (masse par unité de longueur) de la corde.

Plus généralement, *pour des ondes de faible amplitude*, la célérité d'une onde mécanique ne dépend que du milieu de propagation et de son état physique (température, tension d'une corde, rigidité ...).





Doc. 12 *Le télémètre permet de mesurer des distances. C'est un émetteur ultrasonore qui envoie une onde vers un obstacle. L'onde se réfléchit et retourne vers l'appareil qui comporte un détecteur.*
Grâce à la mesure du décalage temporel τ entre les signaux incident et réfléchi, il détermine la distance d entre l'émetteur et l'obstacle par la relation : $d = \frac{\vartheta \cdot \tau}{2}$, ϑ désigne la vitesse des ultrasons qui est aussi celles des sons dans l'air.

3.3 La vitesse de propagation dépend de la nature du milieu

La vitesse du son dans l'air est constante, voisine de 340 m . s^{-1}, à la température ambiante (voir l'*exercice résolu* 1, page 29). Cette célérité augmente avec la température. Dans l'air, à 0 °C, la célérité du son est de 331 m . s^{-1}. La connaissance de cette vitesse permet de déterminer des distances (comme dans le télémètre par exemple [Doc. 12]).

- La célérité du son dans les gaz est plus faible que dans les liquides ou les solides [Doc. 13, 14 et 15 et voir l'*activité préparatoire B*, page 17].

Gaz	air	dioxygène	diazote	dioxyde de carbone	dihydrogène
ϑ (m . s^{-1})	340	327	349	291	1 307

Doc. 13 *La célérité du son dans différents gaz à 20 °C sous une pression de 1013 hPa.*

Liquide	eau	eau de mer	benzène	chloroforme
ϑ (m . s^{-1})	1 500	1 504	1 250	960

Doc. 14 *La célérité du son dans différents liquides.*

Remarque : le monde sous-marin est le monde du silence, car les ondes sonores « extérieures », c'est-à-dire celles produites par un émetteur à l'extérieur de l'eau, se réfléchissent à la surface de la mer. En revanche, un plongeur entend très bien le bruit d'un moteur de hors-bord.

Les solides conduisent très bien le son : le stéthoscope médical, par exemple, est basé sur ce principe.

Solide	fer	acier	polyéthylène	bétons	liège	croûte terrestre
ϑ (m . s^{-1})	6 000	5 500	2 000	1 000 à 2 000	500	5 000 à 9 000

Doc. 15 *La célérité du son dans différents solides.*



Doc. 16 *Les dauphins communiquent par sons et ultrasons.*

Talamid.ma : للمزيد من الملفات قم بزيارة الموقع

Talamid.ma : هذا الملف تم تحميله من موقع

La vitesse du son dépend du milieu de propagation. Elle est plus importante dans les solides et les liquides que dans l'air.

Exercice d'entraînement 1

1. Lors d'une expérience sur la détermination de la célérité du son dans l'eau (voir l'*activité préparatoire* B, page 17), on a trouvé une durée Δt = 533 ms pour une distance d = 800 m. Calculer la célérité du son dans l'eau.

2. En utilisant le ***document 13***, calculer la durée si, pour la même distance, la mesure a été effectuée dans l'air.

1. La vitesse est donnée par :

$$\vartheta = \frac{d}{\Delta t} = \frac{800}{533 \times 10^{-3}} = 1{,}50 \times 10^{3} \text{ m . s}^{-1}.$$

2. La durée de propagation est donnée par :

$$\Delta t = \frac{d}{\vartheta} = \frac{800}{340} = 2{,}35 \text{ s}.$$

3.4 Retard lors de la propagation d'une onde

Désignons par u les valeurs du déplacement transversal provoqué par une onde se propageant le long d'une corde.

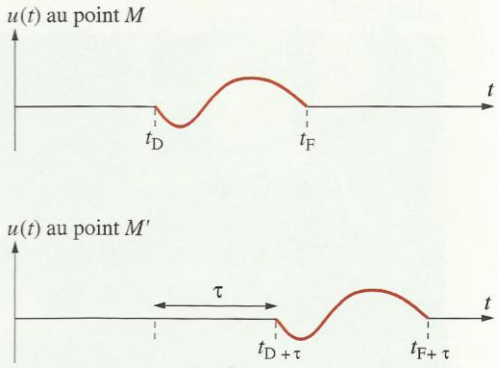
Les graphiques du ***document 17*** représentent la perturbation u en fonction du temps en un point M de la corde, puis en un point M'.

La perturbation u se propage à la vitesse ϑ ; elle affecte le point M à partir de la date t_D (D comme début de la perturbation), puis le point M' à partir de la date $t_D + \tau$.

τ désigne le retard du passage de la déformation en M', par rapport à M.

On a : $$\vartheta = \frac{MM'}{\tau}.$$

La perturbation en M' à l'instant t' est celle qui était en M à l'instant $t' - \tau$ avec $\tau = \frac{MM'}{\vartheta}$, τ étant le retard et ϑ la célérité de l'onde.



Doc. 17 *t_D et t_F désignent les instants du début et de la fin de la perturbation au point M. La courbe représentant la perturbation passant au point M' se déduit de celle représentant la perturbation au point M par une translation de valeur :*

$$\tau = \frac{MM'}{\vartheta}.$$

Exercice d'entraînement 2

On tape un coup de marteau sur une canalisation d'eau, en fonte. L'eau est immobile dans la canalisation. Un capteur, situé à une distance d du choc, capte deux signaux séparés d'une durée τ = 1,80 s.

1. Interpréter le phénomène.

2. Déterminer la valeur de la distance d.

Données :

Vitesse du son dans l'eau : ϑ_1 = 1,50 km . s^{-1}.
Vitesse du son dans la fonte : ϑ_2 = 5,00 km . s^{-1}.

1. Le son se propageant avec des vitesses différentes dans l'eau au repos et dans la fonte. Le détecteur capte deux signaux distincts : le premier correspondant à la fonte, le second à l'eau.

2. Exprimons la distance d :

$d = \vartheta_1 . \Delta t_1$ avec Δt_1, la durée de propagation dans l'eau.

De même, $d = \vartheta_2 . \Delta t_2$ avec Δt_2, la durée de propagation dans la fonte.

Nous avons un système de deux équations à deux inconnues.

Numériquement :

$$1{,}50 \times 10^{3} . \Delta t_1 = 5{,}00 \times 10^{3} . \Delta t_2 \text{ et } \Delta t_1 - \Delta t_2 = 1{,}80.$$

Soit : Δt_1 =2,57 s et Δt_2 = 0,771 s.

Calculons d :

$$d = \vartheta_1 . \Delta t_1 = \vartheta_2 . \Delta t_2$$

Numériquement : $d = 3{,}86 \times 10^{3}$ m, soit 3,86 km.

Pour s'entraîner : Ex. 3, 4 et 6

Talamid.ma : للمزيد من الملفات قم بزيارة الموقع