Propagation d’une onde

Quand on ne sait pas !

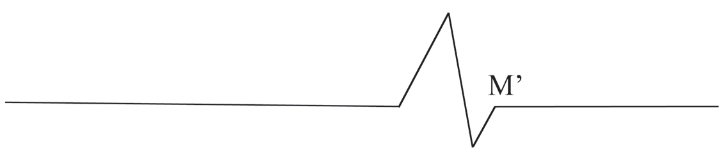
- Une onde, c’est le phénomène de propagation de proche en proche d’une perturbation sans déplacement de matière mais avec transfert d’énergie.

- Revoir la définition du retard et de la vitesse de propagation.

EXEMPLE On considère une corde à l’extrémité de laquelle est appliquée une perturbation à un instant $t_0 = 0$ s pris pour origine. Sur la figure ci-dessous nous avons représenté cette corde à deux instants différents t_1 et t_2.

À l’instant t_1 la perturbation se trouve au point M.

À l’instant t_2 la perturbation se trouve au point M’.



Le retard τ est la durée que met l’onde pour passer du point M au point M’ distant de MM’ = *d*.

La vitesse de propagation est donnée par la relation : $v = \dfrac{d}{\tau}$.

- Convertir une vitesse de km.h^{-1} en m.s^{-1} et réciproquement. On utilise le fait que $1\ \text{m.s}^{-1}$ correspond à $3{,}6\ \text{km.h}^{-1}$. Ce qui conduit à la relation :

$$v\left(\text{m.s}^{-1}\right) = \frac{V\left(\text{km.h}^{-1}\right)}{3{,}6}$$

EXEMPLE 1 $36\ \mathrm{km.h^{-1}}$ correspondent à $10\ \mathrm{m.s^{-1}}$.

EXEMPLE 2 $22\ \mathrm{m.s^{-1}}$ correspondent à $79{,}2\ \mathrm{km.h^{-1}}$.

Que faire ?

- Appliquer l'une des relations entre le retard τ, la distance entre les deux points *d* et la vitesse de propagation de l'onde *v*.

$$v = \frac{d}{\tau} \quad \text{ou} \quad d = v\tau \quad \text{ou} \quad \tau = \frac{d}{v}$$

- Bien identifier les grandeurs que l'on connaît et les grandeurs que l'on cherche.

Conseils

Avant de commencer les calculs il faut exprimer les distances en mètres et les durées en secondes si la vitesse de propagation est exprimée en $\mathrm{m.s^{-1}}$.

Si la vitesse est exprimée en $\mathrm{km.h^{-1}}$, on exprime la distance en kilomètres et les durées en heures.

Exemple traité

Le mascaret est une onde de marée qui remonte un fleuve. Cette onde se propage à une vitesse *v* de l'ordre de $5{,}1\ \mathrm{m.s^{-1}}$.

Le passage du mascaret étant observé sur la commune d'Arcins à 17 h 58, à quelle heure arrivera-t-il à un endroit situé à une distance $d = 13$ km en amont du fleuve ?

➲ Source : sujet posé au BAC Amérique du Nord 2013

Il faut calculer le temps que met le mascaret pour parcourir les 13 km. Cette durée correspond au retard τ. On remarque que la vitesse est donnée en $\mathrm{m.s^{-1}}$ alors que la distance est donnée en km donc il faut en convertir une. Le plus judicieux ici est de convertir la vitesse en $\mathrm{km.h^{-1}}$.

SOLUTION

Exprimons la vitesse en km.h^{-1}.

Nous trouvons $V = 5{,}1 \times 3{,}6 = 18{,}36 \text{ km.h}^{-1}$.

Déterminons le retard τ pour cela nous savons que $V = \dfrac{d}{\tau}$ soit : $\tau = \dfrac{d}{V}$.

Nous trouvons $\tau = \dfrac{13}{18{,}36} = 0{,}71$.

Le retard est de $0{,}71 \text{ h}$ ce qui correspond en minutes à $\tau = 0{,}71 \times 60 = 43 \text{ min}$ (attention aux chiffres significatifs).

Comme 17 h 58 min + 43 min = 18 h 41 min, le mascaret passera à 18 h 41 à 13 km en amont d'Arcins.

Exercices

EXERCICE 1.1 Pour mesurer la distance qui nous sépare d'un orage, il suffit de compter le temps qui sépare l'éclair du tonnerre.

La vitesse de propagation de la lumière est $c = 3{,}00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ et la vitesse de propagation du son est $v_{\text{son}} = 300 \text{ m.s}^{-1}$.

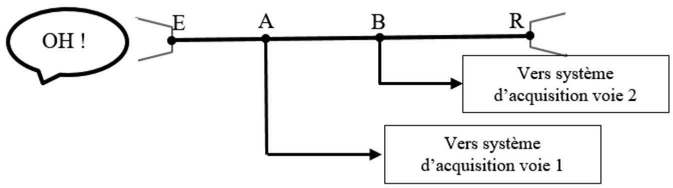
1 Le son du tonnerre met $\tau = 4{,}00 \text{ s}$ pour nous parvenir, déterminer la distance qui nous sépare de l'orage.

2 En déduire le temps que met la lumière de l'éclair pour nous parvenir.

3 Pourquoi peut-on considérer que l'éclair est un phénomène instantané ?

EXERCICE 1.2 Pour déterminer la profondeur des fonds marins, les bateaux utilisent un sonar. Pour cela un capteur mesure le retard τ entre l'émission et la réception d'une salve d'ultrasons réfléchie par le fond marin. Sachant que dans l'eau la vitesse de propagation des ultrasons est de 1500 m.s^{-1}, calculer la profondeur lorsque $\tau = 20 \text{ ms}$ (rappel : $1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$).

EXERCICE 1.3 Voici sur la figure ci-dessous, un téléphone réalisé avec deux pots de yaourts et un fil. Une personne émet un son en E et une autre écoute en R.



Deux capteurs, reliés en deux points A et B distants de D = 20 m sur le fil, détectent successivement le passage d'une perturbation générée par un son bref à l'entrée du pot de yaourt émetteur E.

Les capteurs enregistrent l'amplitude de cette perturbation au cours du temps.

1. À partir de l'enregistrement ci-dessous, déterminer avec quel retard t, par rapport au point A, le point B est atteint par le signal.

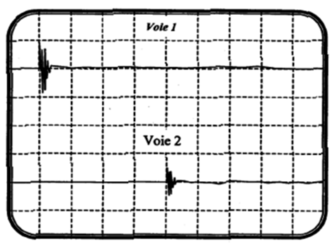


Figure 5

Sensibilité verticale 1 mV / div

Sensibilité horizontale 5 ms / div

2. Donner l'expression de la célérité v de l'onde sur ce fil en fonction de D et t. Calculer sa valeur.

➲ Source : sujet posé au BAC USA 2005

Pour vous aider à démarrer

EXERCICE 1.1	Utilisez la relation entre v, τ et d.
EXERCICE 1.2	Attention à la distance parcourue par le signal, faites un schéma de la situation.
EXERCICE 1.3	Revoir la méthode de lecture d'un oscillogramme.

Solutions des exercices

Exercice 1.1

1 La distance qui nous sépare de l'orage est donnée par la relation :

$$d = v_{son} \times \tau$$

On obtient $d = 300 \times 4 = 1200$. L'orage se situe à 1200 m.

2 Déterminons le temps τ' que met la lumière pour parcourir cette distance.

On a la relation : $\tau' = \dfrac{d}{c}$.

Ce qui donne : $\tau' = \dfrac{1200}{3{,}00 \times 10^{8}} = 4{,}00 \times 10^{-5}$.

La lumière met seulement $4{,}00 \times 10^{-5}$ s pour nous parvenir.

3 Calculons le rapport : $\dfrac{\tau'}{\tau} = \dfrac{4{,}00 \times 10^{-5}}{4{,}00} = 1{,}00 \times 10^{-5}$.

On trouve ainsi que τ' est 100 000 fois plus petit que τ donc nous pouvons considérer que la durée de propagation de la lumière est négligeable devant celle du son et que l'éclair est un phénomène instantané.

Exercice 1.2 Notons d la profondeur mesurée par le sonar. Le temps τ correspond à un aller-retour donc à la distance $2d$, puisque la salve est réfléchie.

Nous avons donc la relation : $2d = v \times \tau$, soit $d = \dfrac{v \times \tau}{2}$.

Ce qui donne : $d = \dfrac{1500 \times 20 \times 10^{-3}}{2} = 15$.

La profondeur est de 15 m.

Exercice 1.3

1 Le retard τ correspond à la différence de position des deux signaux sur l'oscillogramme. On mesure 4 divisions entre les deux signaux. La sensibilité horizontale est de 5 ms/division, nous pouvons déduire la valeur de τ :

$$\tau = 4 \times 5 \times 10^{-3} = 20 \times 10^{-3}$$

Le retard entre les deux points A et B est de 20 ms.

Solutions

2 La vitesse de propagation de l'onde dans le fil est donnée par la relation :

$$v = \frac{d}{\tau}, \text{ soit } v = \frac{20}{20 \times 10^{-3}} = 1{,}0 \times 10^{3}.$$

Dans le fil, l'onde se propage à une vitesse de 1,0 $km.s^{-1}$.

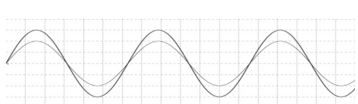
Période T et longueur d'onde λ

Quand on ne sait pas !

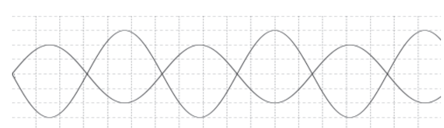
- La période T correspond à la durée la plus courte que met un phénomène pour se reproduire identique à lui-même, elle s'exprime en secondes.
- La longueur d'onde notée λ est la distance entre deux points consécutifs qui possèdent le même état vibratoire, elle s'exprime en mètres. Il est aussi possible de définir la longueur d'onde comme étant la distance parcourue par l'onde pendant une période T.
- Connaître la relation entre la période T et la fréquence f.
- Savoir reconnaître sur un oscillogramme deux signaux en phase, et deux signaux en opposition de phase.

EXEMPLE 1 Deux signaux sont en phase lorsque les deux courbes se superposent parfaitement (figure ci-dessous).

EXEMPLE 2 Deux signaux sont en opposition de phase lorsqu'un maximum de l'un correspond avec un minimum de l'autre (figure ci-dessous).



Ex 1. Signaux en phase



Ex 2. Signaux en opposition de phase

Que faire ?

Il faut connaître la relation entre la période T, la longueur d'onde λ et c la célérité de l'onde, mais aussi la relation entre la période T et la fréquence f.

$$\lambda = c \times T \qquad \text{et} \qquad T = \frac{1}{f}$$

On en déduit : $c = \lambda f$

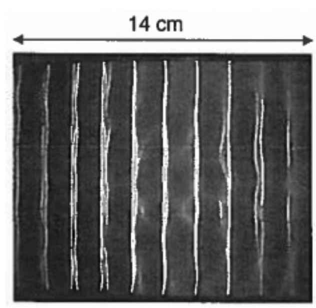
Conseils

Mesurer toujours le plus grand nombre de périodes ou de longueurs d'onde pour obtenir les résultats avec la plus grande précision.

Exemple traité

Il est possible de simuler la houle au laboratoire de physique avec une cuve à ondes, et en utilisant une lame vibrante qui crée à la surface de l'eau une onde progressive sinusoïdale de fréquence f = 23 Hz. On réalise une photographie du phénomène observé (document ci-dessous).

Déterminer, en expliquant la méthode utilisée, la vitesse de propagation v de l'onde sinusoïdale générée par le vibreur.



➲ Source : sujet posé au BAC 2013 Amérique du Nord

SOLUTION

Les fréquences d'une onde et de la source sont identiques. Dans cet exemple la lame vibrante est la source de l'onde. L'onde possède une fréquence f de 23 Hz. Nous pouvons sur la photographie mesurer la longueur d'onde λ, celle-ci correspond à la distance entre deux crêtes (lignes blanches sur la photographie).