

# TD application : Ondes progressives



## I Quelques ondes

### I/A Onde sur une corde

On excite l'extrémité d'une corde à une fréquence de 50 Hz. Les vibrations se propagent le long de la corde avec une célérité de  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

- 1) Quelle est la longueur d'onde ?

### I/B Ondes infrasonores des éléphants

Les éléphants émettent des infrasons dont la fréquence est inférieure à 20 Hz. Cela leur permet de communiquer sur de longues distances et de se rassembler. Un éléphant est sur le bord d'une étendue d'eau et désire indiquer à d'autres éléphants sa présence. Pour cela, il émet un infrason. Un autre éléphant, situé à une distance  $L = 24,0 \text{ km}$ , reçoit l'onde au bout d'une durée  $\Delta t = 70,6 \text{ s}$ .

- 2) Quelle est la valeur de la célérité  $c$  de l'infrason dans l'air ?

### I/C Ondes à la surface de l'eau

Au laboratoire, on dispose d'une cuve à onde contenant de l'eau immobile à la surface de laquelle flotte un petit morceau de polystyrène. On laisse tomber une goutte d'eau au-dessus de la cuve, à l'écart du morceau de polystyrène. Une onde se propage à la surface de l'eau. Quelles sont les affirmations exactes ?

- 3) Ceci correspond :

a) à une onde mécanique,      b) à une onde longitudinale,      c) à une onde transversale.

- 4) L'onde atteint le morceau de polystyrène.

- 1) Celui-ci se déplace parallèlement à la direction de propagation de l'onde,
- 2) Celui-ci se déplace perpendiculairement à la direction de propagation de l'onde,
- 3) Celui-ci monte et descend verticalement,
- 4) Celui-ci reste immobile.

Pour les ondes progressives sinusoïdales se propageant à la surface de l'eau, la relation de dispersion s'écrit

$$\omega^2 = gk$$

avec  $g$  l'accélération de pesanteur constante.

- 5) Le milieu est-il dispersif ?
- 6) Exprimer la vitesse de phase  $v_\varphi(k)$ .

## ☆☆ II Applications directes du cours

- 1) Soit  $g(t)$  la fonction modélisant le signal en  $x = 0$ . Donner l'expression du signal en  $M(x)$  ( $x > 0$ ) en considérant une onde qui se propage vers les  $x$  croissants de  $O$  à  $M$  à la célérité  $c$ . De même pour une onde se propageant vers les  $x$  décroissants.
- 2) Soit  $f(x)$  la fonction donnant à la date  $t = 0$  la valeur d'une grandeur physique en fonction de l'abscisse  $x$  du point d'observation. Donner l'expression de cette grandeur en fonction de  $x$  à la date  $t$  en considérant une onde se propageant vers les  $x$  décroissants à la célérité  $c$ .
- 3) Une onde progressive sinusoïdale d'amplitude  $A_0$  et de longueur d'onde  $\lambda$  se propage dans le sens des  $x$  décroissants à la célérité  $c$ . La phase à  $t = 0$  au point  $A$  d'abscisse  $x_A = \lambda/4$  est nulle. Donner l'expression de la fonction  $s(x, t)$  en fonction de  $A_0$ ,  $\lambda$ ,  $c$ ,  $x$  et  $t$ . Quel est le déphasage entre  $A$  et l'origine  $O$  du repère ?
- 4) Donner la période, la fréquence, la pulsation, la longueur d'onde, le nombre d'onde ( $1/\lambda$ ) et le vecteur d'onde, de l'onde :

$$s(x, t) = 5 \sin(2,4 \times 10^3 \pi t - 7,0 \pi x + 0,7 \pi x)$$

où  $x$  et  $t$  sont exprimés respectivement en mètres et en secondes. Quelle est sa vitesse de propagation ?

- 5) Une onde sinusoïdale se propage dans la direction de l'axe  $(Ox)$  dans le sens négatif avec la célérité  $c$ . On donne :  $s_2(0, t) = A \sin(\omega t)$ .

Déterminer l'expression de  $s_2(x, t)$ . Représenter graphiquement  $s_2(\lambda/4, t)$  et  $s_2(\lambda/2, t)$  en fonction de  $t$ .

- 6) En  $x = 0$  on excite un train d'onde de la forme

$$s(0, t) = S_0 \exp\left(-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2\right) \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$$

Avec  $T = 0,2 \text{ s}$  et  $\tau = 1 \text{ s}$ . L'onde se propage dans la direction des  $x$  positifs à la célérité  $c = 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Donner l'expression de  $s(x, t)$ .

- 7) La vibration d'une corde tendue horizontalement est modélisée par la fonction d'onde donnant l'altitude  $y$  à la date  $t$  et au point d'abscisse  $x$  (en mètre) :

$$y(x, t) = 0,050 \cos(10\pi t + \pi x)$$

- ◇ Préciser les valeurs et unités de l'amplitude  $Y_0$ , la pulsation  $\omega$ , la fréquence  $f$ , la période  $T$ , le vecteur d'onde  $k$  et la longueur d'onde  $\lambda$ .
  - ◇ L'onde se propage-t-elle vers les  $x$  croissants ou décroissants ?
  - ◇ La célérité d'une onde le long d'une corde vibrante est donnée par l'expression  $c = \sqrt{T/\mu}$  avec  $T$  la tension de la corde et  $\mu = 0,10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$  la masse linéique de la corde. Calculer la tension de la corde.
  - ◇ On multiplie la tension de la corde par 2 et on garde même fréquence d'excitation  $f$ . Comment varie alors la longueur d'onde ?
- 8) Calculer la longueur d'onde correspondant à la note  $\text{La}_3$ , de fréquence  $f = 440 \text{ Hz}$  se propageant dans l'air à la célérité  $c = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### ★☆☆ III Distance d'un impact de foudre

On peut lire, dans une revue de vulgarisation scientifique :

« Lorsque nous parlons, nos cordes vocales mettent en mouvement l'air qui les entoure. L'air étant élastique, chaque couche d'air se comporte comme un ressort. La couche d'air comprimé se détend, et ce faisant comprime la couche qui la suit dans le sens de propagation du son, etc. »

- 1) Définir une onde progressive. Quelle grandeur physique constitue la perturbation pour une onde acoustique ?
- 2) Le son est une onde mécanique. Que peut-on alors dire de son milieu de propagation ? Donner deux autres exemples d'ondes mécaniques (mais non acoustiques).
- 3) Pendant un orage, on peut grossièrement évaluer la distance à laquelle est tombée la foudre. Si on divise par trois la durée (en secondes) entre l'éclair (phénomène visible) et le tonnerre (phénomène audible), on obtient la distance cherchée (en kilomètres). À quel type d'onde est associé l'éclair ? Donner l'intervalle de longueurs d'onde dans le vide du spectre visible. À partir de l'observation faite pendant l'orage, estimer approximativement la valeur numérique de la vitesse  $c_{\text{air}}$  de propagation du son dans l'air. La réponse sera justifiée avec soin.