# Série 1 : Ondes mécaniques progressives

## Exercice 1 : Étude des ondes sonores

1. Quelques caractéristiques des ondes sonores :

1.1.Pourquoi peut-on dire que les ondes sonores sont des ondes mécaniques ?

1.2. Choisir la (ou les) bonne(s) caractéristique(s) qui qualifie(nt) une onde sonore, en expliquant la signification des caractéristiques choisies :

a) progressive b) tridimensionnelle c) transversale d) longitudinale

1.3. Choisir dans la liste le (ou les) «milieu(x)» dans lequel le son ne se propage pas :

a) acier b) béton c) vide d) eau

2. Ondes sonores produites par un avion :

Un avion vole à la vitesse $v_{avion}$ = 800 $km.h^{-1}$ . On veut savoir s'il se déplace à une vitesse supérieure à la célérité du son sachant que cette dernière dépend de la température.

2.1. La célérité du son peut se calculer en première approximation par la relation $v_{son}(\theta) = v_{son}(0°C) \times \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}}$

avec $\theta$ la température en degré Celsius et $v_{son}$ (0°C) = $3,3 \times 10^2$ $m.s^{-1}$.

Calculer la célérité des ondes sonores à l'altitude de 10 km en considérant que la température $\theta$ de l'air vaut - 50°C.

2.2. Comparer cette valeur avec la vitesse de l'avion. Conclure.

## EXERCICE 2 : Le claquement d'un coup de fouet

Un artiste de cirque veut faire claquer son fouet ; pour ce faire, il génère, d'un mouvement de poignet, un ébranlement qui se déplace à la célérité v le long de la lanière en cuir du fouet.

1. Cette célérité v dépend de la tension F de la lanière et de sa masse linéique $\mu$ (masse par unité de longueur) suivant la relation $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ .

Montrer, par une analyse dimensionnelle, l'homogénéité de cette relation.

2. On simule à l'aide d'un logiciel la propagation de la perturbation le long de la lanière et on obtient la position de l'ébranlement à différentes dates séparées d'un intervalle de temps $\Delta t = 3,5 \times 10^{-2}$ s (voir figure 1).

La lanière du fouet a une longueur L = 3,0 m.

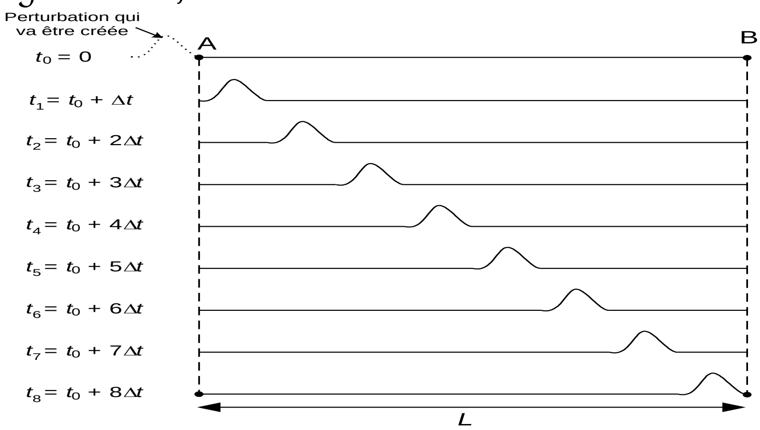


Figure 1. Propagation de la perturbation le long de la lanière

*2.1. Calculer la durée $\tau$ mise par l'onde pour parcourir toute la lanière.*
*2.2. En déduire la valeur de la célérité v de l'onde.*
*2.3. En réalité, la section de la lanière du fouet diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la poignée ; la masse linéique $\mu$ diminue donc. Si on suppose que la tension F est constante, comment évolue la célérité de l'onde le long de la lanière, de la poignée à son extrémité ?*

*3. On s'intéresse maintenant à la vitesse de déplacement transversal de la mèche qui correspond à l'extrémité du fouet.*
*On enregistre son mouvement avec une caméra ultra-rapide. La fréquence de prise de vue est de 4000 images par seconde. Entre deux images successives, la mèche, du fait de la propagation de la vibration, se déplace d'une distance d = 11 cm (voir figure 2).*
*En déduire la vitesse v' de déplacement de la mèche. Dans ces conditions, le mur du son a-t-il été passé par la mèche ?*
*Donnée : célérité du son dans l'air à 20°C : $v_{son}$ = 340 m.s$^{-1}$*

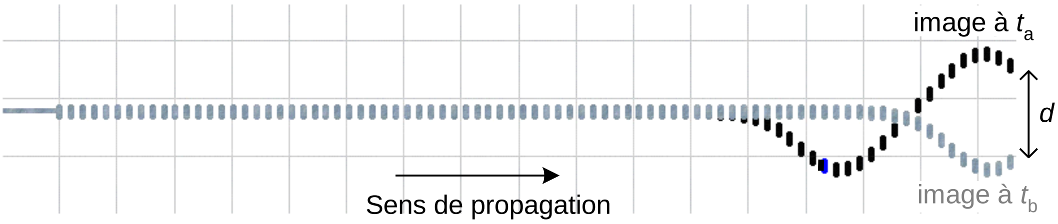

*Figure 2. Positions de la mèche du fouet à deux instants $t_a$ et $t_b$*

CORRECTION

## EXERCICE 1 : Étude des ondes sonores

1. Les ondes sonores ne peuvent pas se propager dans le vide, leur propagation nécessite un milieu matériel, ce sont donc des ondes mécaniques.

2. Une onde sonore se propage, c'est donc une onde **a) progressive**. Elle se propage dans toutes les directions qui lui sont offertes, il s'agit d'une onde **b) tridimensionnelle**. La direction de la propagation de l'onde sonore est parallèle à la direction de la perturbation, c'est une onde **d) longitudinale**.
**Propositions a), b) et d) sont correctes.**
1.3 Le son se propage dans tous les milieux matériels mais ne se propage pas dans le **c) vide**.

2.1 $v_{son}(\theta) = v_{son}(0°C) \times \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}}$

$$v_{son}(-50°C) = 3{,}3\times10^2 \times \sqrt{1 + \frac{-50}{273}}$$

$v_{son}(-50°C) = 3{,}0\times10^2\ m.s^{-1}$

2.2 L'avion vole à une vitesse de $v = 800\ km.h^{-1}$, soit en $m.s^{-1}$ $v = \frac{800\times10^3}{3600} = 222\ m.s^{-1}$

La vitesse v est inférieure à celle du son à -50°C, l'avion **n'a pas passé le mur du son.**

## EXERCICE 2 : Le claquement d'un coup de fouet

1. Pour montrer l'homogénéité de cette relation il suffit de montrer que $\sqrt{\frac{F}{\mu}}$ est homogène à une vitesse :

$F = m.a$ et $\mu = \frac{m}{L}$

$[F] = [m].[a]$ $[\mu] = \frac{[m]}{[L]}$

$[F] = M.\frac{L}{T^2}$ $[\mu] = \frac{M}{L}$

$$\left[\sqrt{\frac{F}{\mu}}\right] = \sqrt{\frac{[F]}{[\mu]}} = \left[\sqrt{\frac{M.\frac{L}{T^2}}{\frac{M}{L}}}\right] = \left[\sqrt{M.\frac{L}{T^2}.\frac{L}{M}}\right] = \left[\sqrt{\frac{L^2}{T^2}}\right] = \left[\frac{L}{T}\right]$$ ce qui est homogène à une vitesse.

2.
2.1. D'après la figure 1, la perturbation met une durée $\tau = 8.\Delta t$ pour atteindre l'extrémité de la lanière, soit
$\tau = 8\times3{,}5\times10^{-2}$ s
$\tau = 0{,}28$ s

**2.2.** La lanière a une longueur $L = 3,0$ m

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

$$v = \frac{3,0}{0,28} = \mathbf{11\ m.s^{-1}}$$

**2.3.** $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ F est constante et la masse linéique μ diminue, donc la vitesse augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la poignée.

**3.** Entre deux images il s'écoule une durée de τ' = 1/4000 s pour une distance d = 11 cm

$$v' = \frac{d}{\tau'}$$

$$v' = \frac{0,11}{\frac{1}{4000}} = 0,11 \times 4000 = \mathbf{4,4 \times 10^{2}\ m.s^{-1}}$$

Cette vitesse est supérieure à 340 $m.s^{-1}$, le mur du son a été dépassé par la mèche.