

# Chapitre 2

## Ondes mécaniques progressives périodiques

### RÉVISION ET RÉSUMÉ

**Onde progressive périodique** Il faut savoir reconnaître une telle onde (répétition d'un motif élémentaire), et savoir mesurer sa période  $T$  (durée d'émission d'un motif élémentaire).

**Période temporelle** Chaque point du milieu subit la même perturbation à intervalles de temps égaux à  $T$ .

**Période spatiale** La même perturbation se reproduit identique à elle-même dans la direction de propagation. La distance entre motifs identiques consécutifs est la période spatiale.

**Cas des ondes sinusoïdales** Une onde progressive périodique est dite sinusoïdale si l'évolution périodique de la source peut être associée à une fonction sinusoïdale.

**Longueur d'onde** La période spatiale est appelée longueur d'onde et notée  $\lambda$ .

gueur d'onde et notée  $\lambda$ .

$$\lambda = vT$$

**Équation aux dimensions** Vous devez savoir justifier la formule ci-dessus par une équation aux dimensions, montrant que la formule est homogène :

$$\begin{cases} [\lambda] = \text{m} \\ [vT] = \text{m.s}^{-1} \times \text{s} = \text{m} \end{cases}$$

**Diffraction** La diffraction est l'étalement des directions de propagation de l'onde lors de la rencontre d'un obstacle ou d'une ouverture. Cet étalement est d'autant plus marqué que les dimensions de l'obstacle ou de l'ouverture sont faibles :

$$d \sim \lambda$$

**Dispersion** Le milieu est dispersif si la célérité des ondes dépend de leur fréquence.

### MOTS CLÉS

Progressives	Période	Diffraction
Périodiques	Longueur d'onde	Dispersion

### APPLICATIONS DU COURS

#### 2.1 Sons audibles

Les ondes sonores audibles par l'oreille humaine ont une fréquence comprise entre 20 Hz et 20 kHz.

- Entre quelles valeurs sont comprises les longueurs d'ondes correspondantes, si la célérité du son dans l'air vaut  $340 \text{ m.s}^{-1}$  ?
- Reprendre la question précédente, avec des ondes sonores se propageant dans l'eau, à la célérité de  $1500 \text{ m.s}^{-1}$ .

#### 2.2 Écholocation des dauphins

Pour se situer par rapport à d'éventuels obstacles, un dauphin produit une salve d'ultrasons de fréquence  $f = 40 \text{ kHz}$ .

- Calculez la longueur d'onde de ces ultrasons, avec  $1500 \text{ m.s}^{-1}$  pour la célérité des ultrasons dans l'eau.

- Quelle est la dimension de la plus petite proie que le dauphin peut attraper, les yeux fermés ?

#### 2.3 N°13 p. 51 : Ondes à la surface de l'eau

##### 2.4 Vibreur de Melde

a. Un vibreur de Melde est constitué d'une lame mobile verticalement, et d'un électroaimant actionnant cette lame. L'électroaimant est parcouru par un courant de 50 Hz.

Sachant que la lame est attirée par l'électroaimant quelque soit le sens du courant, pourvu qu'il soit suffisamment intense, calculer la fréquence  $f$  des oscillations de la lame.

- Avec ce vibreur, on produit une onde progressive périodique le long d'une corde. On mesure la longueur d'onde des ondes créées, soit 25 cm. Calculez la célérité des ondes sur la corde.

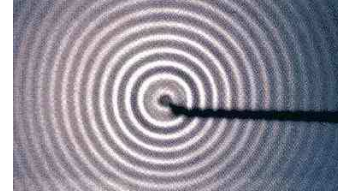
### EXERCICES

N'oubliez pas l'exercice résolu page 48 du livre.

#### 2.5 N°25 p. 53 : Mesure de la célérité des ultrasons

##### 2.6 Ondes circulaires

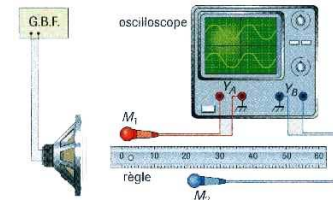
Le document photographique ci-dessous représente le résultat d'une expérience où la fréquence du vibreur est 30 Hz. L'échelle est de 1/3.



- Schématisez la surface de l'eau en coupe à l'instant de la photographie. Soyez bien précis sur la position du vibreur.
- Quelle est la nature de l'onde ?
- Déterminez sa longueur d'onde et sa célérité.
- À quoi devrait ressembler une photographie, prise à un instant  $t + \frac{T}{2}$ , après l'instant  $t$  de la prise de vue proposée ?

##### 2.7 Méthode des deux microphones

Le son émis par le haut-parleur est capté par deux microphones  $M_1$  et  $M_2$  branchés sur les voies  $Y_A$  et  $Y_B$  de l'oscilloscope.



- Calculez la fréquence du son capté, sachant que l'on aperçoit deux périodes complètes de chaque sinusoïde sur l'oscillogramme, que l'écran comporte dix divisions au total en largeur, et que la fréquence de balayage est réglée sur 0,1 ms par division.

Lorsque les deux abscisses des microphones sont égales, les courbes observées sur l'oscilloscope sont en phase.

On déplace lentement le microphone  $M_2$  et on relève l'abscisse  $x_2$  de ce microphone, à chaque fois que les courbes sur l'oscilloscope sont à nouveau en phase.

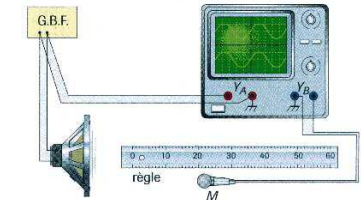
N°	1	2	3	4	5
$x_2$ (cm)	17,0	34,0	51,0	68,0	85,0

- Quelle valeur de la longueur d'onde peut-on déduire de ces mesures ?

- Quelle est alors la célérité du son dans l'air ?

##### 2.8 Méthode du microphone unique

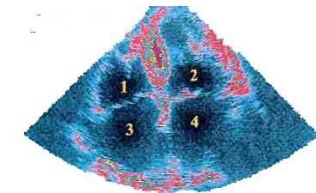
Le son émis par le haut-parleur est capté par le microphone  $M$ . On réalise les branchements conformément à la figure ci-dessous.



- Quelles sont les deux tensions visualisées sur l'oscilloscope ?
- Calculez la fréquence du son capté, sachant que l'on aperçoit deux périodes complètes de chaque sinusoïde sur l'oscillogramme, que l'écran comporte dix divisions au total, et que la fréquence de balayage est réglée sur 0,2 ms par division.
- On note les deux positions du micro qui permettent d'obtenir des sinusoïdes en phase :  $x = 4,5 \text{ cm}$  et  $x = 38,5 \text{ cm}$ . Quelle est la valeur de la longueur d'onde de l'onde sonore dans ces conditions ?
- En déduire la célérité des ondes sonores dans l'air.

##### 2.9 Échographie du cœur

Des ondes ultrasonores de fréquence 2,00 MHz sont utilisées pour réaliser l'échographie du cœur. Dans les tissus cardiaques, leur vitesse de propagation est de l'ordre de  $1,5 \text{ km.s}^{-1}$ .



- oreillette droite
- oreillette gauche
- ventricule droit
- ventricule gauche

- Quelle est la nature des ondes ultrasonores ?
- Pourquoi ces ondes ne sont-elles pas audibles ?
- Quelle est leur longueur d'onde dans les tissus cardiaques ?
- Ces ondes peuvent-elles être diffractées par le cœur ? Pourquoi ?
- Lorsqu'elles se propagent dans l'air, quelles sont les caractéristiques qui sont modifiées : vitesse, fréquence, longueur d'onde, période ?

# Corrigé 2

## Ondes mécaniques progressives périodiques

### APPLICATIONS DU COURS

#### 2.1 Sons audibles

$$a. \lambda = vT = \frac{v}{f} \Rightarrow \begin{cases} \lambda_{\text{aigu}} = \frac{340}{20} = 17 \text{ m} \\ \lambda_{\text{grave}} = \frac{340}{20000} = 17 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow 17 \text{ mm} < \lambda < 17 \text{ m}$$

b. Calculs similaires :

$$75 \text{ mm} < \lambda < 75 \text{ m}$$

#### 2.2 Écholocation des dauphins

$$a. \lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500}{40 \times 10^3} = 3,8 \text{ cm.}$$

b. On fait que l'hypothèse que l'appareil de réception du dauphin est parfait, et donc que seule la diffraction limite sa résolution. Comme la diffraction est importante pour des obstacles de taille  $L$  inférieure ou comparable à la longueur d'onde  $\lambda$ , on peut donner comme plus dimension de la plus petite proie :

$$L_{\text{mini}} \sim \lambda = 3,8 \text{ cm.}$$

#### 2.3 N°13 p. 51 : Ondes à la surface de l'eau

#### 2.4 Vibreur de Melde

a. Un courant sinusoïdal comporte deux alternances par période, une positive, l'autre négative. La fréquence d'oscillation de la lame sera donc de 100 Hz.

$$b. \lambda = \frac{v}{f} \Leftrightarrow v = \lambda f = 25 \times 10^{-2} \times 100 = 25 \text{ m.s}^{-1}.$$

$$b. \lambda = 17 \text{ cm.}$$

c. Célérité du son dans l'air :

$$v = \lambda f = 17 \cdot 10^{-2} \times 2000 = 340 \text{ m.s}^{-1}$$

#### 2.8 Méthode du microphone unique

#### 2.9 Échographie du cœur

a. Ondes mécaniques progressives périodiques longitudinales.

b. Fréquence supérieure au seuil d'audition, environ 16 kHz pour un adulte.

c. Longueur d'onde dans le tissu cardiaque :

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{2,00 \cdot 10^6} = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,75 \text{ mm}$$

d. Non, les ondes ultrasonores ne sont pas diffractées par le cœur ; l'échographie est basée sur la dispersion des ondes (changement de la vitesse de propagation) en fonction du milieu, plus ou moins dense, donc la diffraction n'a pas d'influence. En revanche, le plus petit détail visible du cœur sera de l'ordre du millimètre, et là c'est bien la diffraction qui limite la résolution.

e. Quelque soit le milieu, la fréquence d'une onde est toujours la caractéristique qui est conservée — et donc, il en est de même pour la période. En revanche, vitesse et longueur d'onde sont modifiées.

★★

# Corrigé 2

## Ondes mécaniques progressives périodiques

### APPLICATIONS DU COURS

#### 2.1 Sons audibles

$$a. \lambda = vT = \frac{v}{f} \Rightarrow \begin{cases} \lambda_{\text{aigu}} = \frac{340}{20} = 17 \text{ m} \\ \lambda_{\text{grave}} = \frac{340}{20000} = 17 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow 17 \text{ mm} < \lambda < 17 \text{ m}$$

b. Calculs similaires :

$$75 \text{ mm} < \lambda < 75 \text{ m}$$

#### 2.2 Écholocation des dauphins

$$a. \lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500}{40 \times 10^3} = 3,8 \text{ cm.}$$

b. On fait que l'hypothèse que l'appareil de réception du dauphin est parfait, et donc que seule la diffraction limite sa résolution. Comme la diffraction est importante pour des obstacles de taille  $L$  inférieure ou comparable à la longueur d'onde  $\lambda$ , on peut donner comme plus dimension de la plus petite proie :

$$L_{\text{mini}} \sim \lambda = 3,8 \text{ cm.}$$

#### 2.3 N°13 p. 51 : Ondes à la surface de l'eau

#### 2.4 Vibreur de Melde

a. Un courant sinusoïdal comporte deux alternances par période, une positive, l'autre négative. La fréquence d'oscillation de la lame sera donc de 100 Hz.

$$b. \lambda = \frac{v}{f} \Leftrightarrow v = \lambda f = 25 \times 10^{-2} \times 100 = 25 \text{ m.s}^{-1}.$$

$$b. \lambda = 17 \text{ cm.}$$

c. Célérité du son dans l'air :

$$v = \lambda f = 17 \cdot 10^{-2} \times 2000 = 340 \text{ m.s}^{-1}$$

#### 2.8 Méthode du microphone unique

#### 2.9 Échographie du cœur

a. Ondes mécaniques progressives périodiques longitudinales.

b. Fréquence supérieure au seuil d'audition, environ 16 kHz pour un adulte.

c. Longueur d'onde dans le tissu cardiaque :

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{2,00 \cdot 10^6} = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,75 \text{ mm}$$

d. Non, les ondes ultrasonores ne sont pas diffractées par le cœur ; l'échographie est basée sur la dispersion des ondes (changement de la vitesse de propagation) en fonction du milieu, plus ou moins dense, donc la diffraction n'a pas d'influence. En revanche, le plus petit détail visible du cœur sera de l'ordre du millimètre, et là c'est bien la diffraction qui limite la résolution.

e. Quelque soit le milieu, la fréquence d'une onde est toujours la caractéristique qui est conservée — et donc, il en est de même pour la période. En revanche, vitesse et longueur d'onde sont modifiées.

★★

### EXERCICES

#### 2.5 N°25 p. 53 : Mesure de la célérité des ultrasons

#### 2.6 Ondes circulaires

a. En coupe, onde sinusoïdale, le vibreur occupant un creux.

b. Onde mécanique progressive sinusoïdale circulaire.

c. Lorsque l'on compte 10 franges brillantes, on trouve 2,3 cm, donc :

$$\lambda = 2,3 \times \frac{1}{10} \times 3 = 0,70 \text{ cm}$$

Remarque : la réduction lors de la photocopie change les résultats ! On obtient alors 1,75 cm pour 10 franges, donc :

$$\lambda = 1,75 \times \frac{1}{10} \times 3 = 0,53 \text{ cm}$$

Et pour la célérité :

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$\Rightarrow v = \lambda f = 0,70 \cdot 10^{-2} \times 30 = 0,21 \text{ m.s}^{-1}$$

Remarque : on trouve  $v = 0,16 \text{ m.s}^{-1}$  en mesurant sur l'énoncé réduit à la photocopie.

#### 2.7 Méthode des deux microphones

a. Calcul de la période :

$$T = \frac{0,1 \cdot 10^{-3} \times 10}{2} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Calcul de la fréquence :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5,0 \cdot 10^{-4}} = 2000 \text{ Hz}$$

### EXERCICES

#### 2.5 N°25 p. 53 : Mesure de la célérité des ultrasons

#### 2.6 Ondes circulaires

a. En coupe, onde sinusoïdale, le vibreur occupant un creux.

b. Onde mécanique progressive sinusoïdale circulaire.

c. Lorsque l'on compte 10 franges brillantes, on trouve 2,3 cm, donc :

$$\lambda = 2,3 \times \frac{1}{10} \times 3 = 0,70 \text{ cm}$$

Remarque : la réduction lors de la photocopie change les résultats ! On obtient alors 1,75 cm pour 10 franges, donc :

$$\lambda = 1,75 \times \frac{1}{10} \times 3 = 0,53 \text{ cm}$$

Et pour la célérité :

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$\Rightarrow v = \lambda f = 0,70 \cdot 10^{-2} \times 30 = 0,21 \text{ m.s}^{-1}$$

Remarque : on trouve  $v = 0,16 \text{ m.s}^{-1}$  en mesurant sur l'énoncé réduit à la photocopie.

#### 2.7 Méthode des deux microphones

a. Calcul de la période :

$$T = \frac{0,1 \cdot 10^{-3} \times 10}{2} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Calcul de la fréquence :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5,0 \cdot 10^{-4}} = 2000 \text{ Hz}$$