

## ONDES MECANIQUES PROGRESSIVES PERIODIQUES

### 1- L'onde mécanique progressive périodique

#### 1-1 Définition

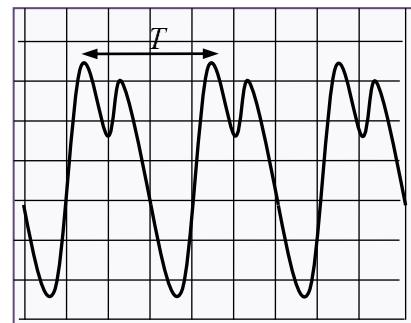
Une onde progressive est dite périodique si l'évolution temporelle de chaque point du milieu de propagation est périodique.

Exemple: le son émis par l'instrument musique est une onde progressive périodique.

#### 1-2 La double périodicité temporelle et spatiale

- L'onde mécanique progressive périodique se caractérise par une périodicité temporelle dont la grandeur physique caractéristique est la période  $T$ , c'est la durée minimale nécessaire pour qu'un point du milieu retrouve le même état de vibration.

- L'onde mécanique progressive périodique se caractérise aussi par une périodicité spatiale, c'est la distance constante, séparant deux motifs identiques consécutifs.



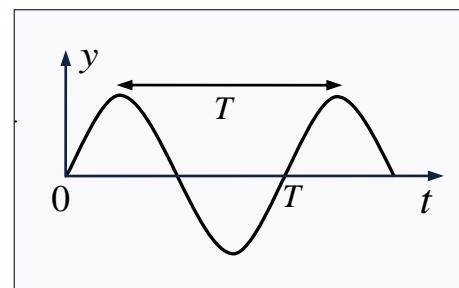
### 2- L'onde mécanique progressive sinusoïdale

#### 2-1 Définition d'une onde sinusoïdale

Une onde mécanique progressive périodique est dite sinusoïdale si l'évolution temporelle de la source peut être associée à une fonction sinusoïdale.

Exemple:

- \* Le son émis par le diapason est une onde progressive sinusoïdale.
- \* L'extrémité de la lame du vibrer génère une onde progressive sinusoïdale qui se propage le long de la corde.

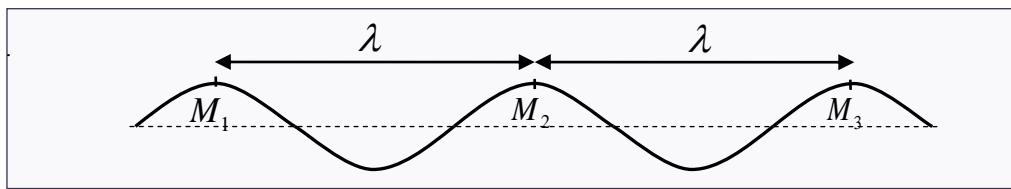


#### 2-2 Caractéristiques de l'onde sinusoïdale

##### a- Longueur d'onde

La longueur d'onde  $\lambda$  est la distance séparant deux points consécutifs du milieu de la propagation présentant le même état vibratoire.

L'unité de  $\lambda$  dans le système international est le mètre ( $m$ )



Les points  $M_1$ ,  $M_2$  et  $M_3$  présentent le même état vibratoire, on dit qu'ils vibrent en phase.

En général:

- ✓ Si  $MM' = k\lambda$  on dit que  $M$  et  $M'$  vibrent en phase.
- ✓ Si  $MM' = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$  on dit que  $M$  et  $M'$  vibrent en opposition de phase.

### b- La période et la fréquence

- *La période  $T$*  est la durée nécessaire pour que l'onde parcours une distance égale à  $\lambda$
- *La fréquence  $N$*  est le nombre de périodes par unité de temps.

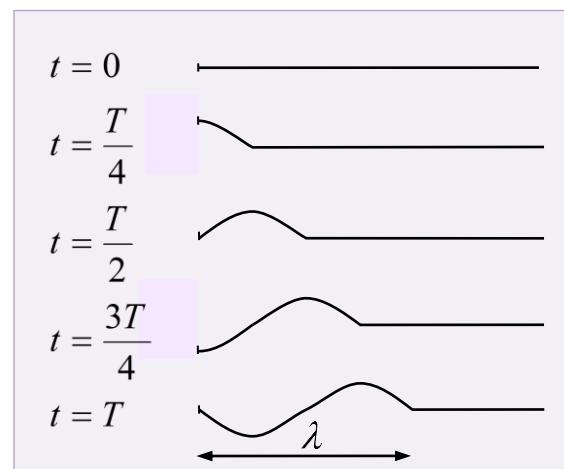
Nous écrivons: 
$$N = \frac{1}{T}$$

L'unité de  $N$  dans le système international est le Hertz ( $Hz$ )

### c- Célérité d'une onde sinusoïdale

Pendant la période  $T$  l'onde parcourt la distance  $\lambda$ . Donc nous écrivons:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda N$$



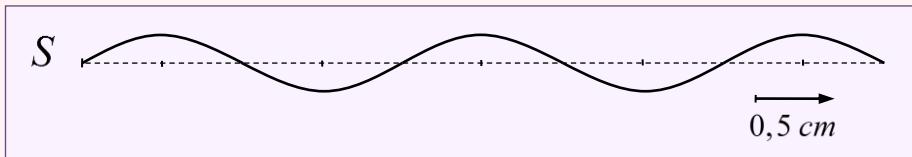
### Exercice d'application 1:

Un vibreur génère une onde progressive sinusoïdale le long d'une corde élastique. On note  $N$  la fréquence de l'onde et  $v$  sa célérité.

On éclaire la corde avec un stroboscope de fréquence réglable  $N_e$ . La corde affiche une apparence immobile pour les fréquences suivantes :

$$N_e = \{100 ; 50 ; 33,33 ; 25 \text{ Hz}\}$$

Le schéma suivant représente l'aspect de la corde à un instant t



- 1- Calculer la période  $T$  de l'onde.
- 2- Calculer la célérité de l'onde.
- 3- On règle la fréquence du stroboscope sur les valeurs  $N_e = 99\text{Hz}$  et  $N_e = 101\text{Hz}$ . Décrire l'aspect de la corde pour chaque fréquence.

Solution:

1- **La période  $T$ :** On sait que:  $T = \frac{1}{N}$  et comme  $N$  est la plus grande valeur de fréquences du stroboscope pour laquelle la corde apparaît immobile, on trouve  $N = 100\text{Hz}$ . D'où:  $T = 0,01\text{s}$

2- **La célérité  $v$ :** On a  $v = \frac{\lambda}{T}$ . L'extraction graphique nous donne une longueur d'onde  $\lambda = 4 \times 0,5 = 2\text{cm}$

D'où:  $v = 2 \text{ m.s}^{-1}$

3- **L'aspect de la corde:**

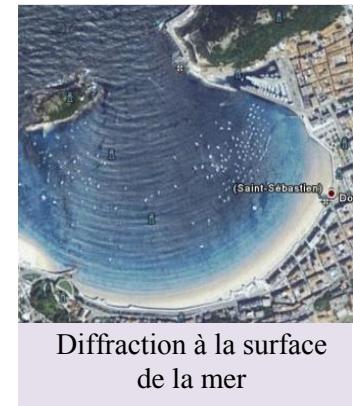
\* Si la fréquence des éclairs est légèrement inférieure à celle de l'onde ( $N_e = 99\text{Hz}$ ). La corde apparaît en mouvement ralenti dans le même sens de la propagation de l'onde.

\* Si la fréquence des éclairs est légèrement supérieure à celle de l'onde ( $N_e = 101\text{Hz}$ ). La corde apparaît en mouvement ralenti dans le sens inverse du sens réel de la propagation de l'onde.

### 3- Le phénomène de diffraction

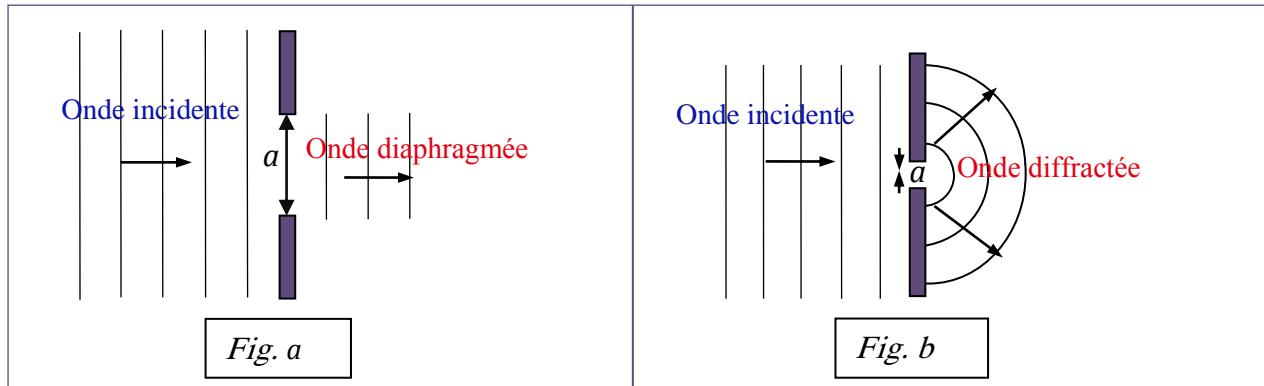
Lorsqu'une onde progressive sinusoïdale traverse une ouverture de largeur  $a$  ou lorsqu'elle rencontre un obstacle de largeur  $a$ , il peut y avoir une modification de la structure de l'onde si la largeur  $a$  vérifie certaines conditions. (voir activité 4)

- **Premier cas:** la largeur  $a$  de l'ouverture (fente) est grande par rapport à la longueur d'onde  $\lambda$  ( $a \gg \lambda$ ): l'onde est arrêtée par l'obstacle et se propage sans modification à



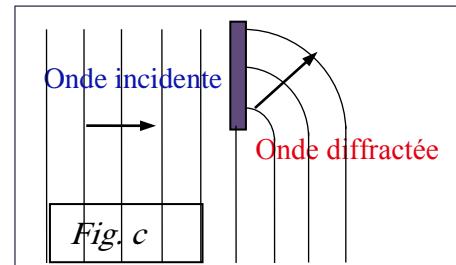
travers la fente on dit que l'onde est diaphragmée par la fente. (fig. a)

- **Deuxième cas:** la largeur  $a$  de la fente est de même ordre de grandeur ou inférieure que la longueur  $\lambda$  de l'onde ( $a \leq \lambda$ ): l'onde plane est transformée en une *onde circulaire* centrée sur l'ouverture qui se propage dans une large partie du milieu au-delà de la fente. (Il n'y a plus de "zone d'ombre" derrière l'obstacle). On dit que l'onde est diffractée par la fente (fig. b).



### Remarque:

- ✓ L'onde diffractée et l'onde incidente ont la même fréquence, même célérité et, par conséquent, même longueur d'onde.
- ✓ La diffraction est d'autant plus marquée que l'ouverture est petite.
- ✓ Nous observons aussi le phénomène de diffraction lorsque nous disposons sur le trajet des ondes le bord d'une règle. Les ondes contournent la règle (fig. c).
- ✓ Le phénomène de diffraction révèle la nature ondulatoire de toute perturbation qui se propage.



### Exercice d'application 2:

Les ondes sonores audibles par l'oreille humaine ont une fréquence comprise entre  $20\text{Hz}$  et  $20\text{kHz}$

Au-delà de  $20\text{kHz}$  il s'agit d'ultrasons qui ne peuvent pas être entendus par l'Homme, certains animaux comme les chauves-souris, les dauphins ou les baleines sont capables de les percevoir.

1- Sachant que la célérité des ondes sonores dans l'air est égale à  $340\text{ m.s}^{-1}$  dans les conditions ordinaires de la température, déterminer le domaine de longueur d'onde des ondes sonores audibles par l'oreille humaine.

2- Nous dirigeons, vers une fente, une onde ultrasonore de fréquence  $24\text{kHz}$

2-1 Quelle est la célérité des ultrasons dans l'air?

2-2 Calculer l'ordre de grandeur de la largeur d'une fente qui permet de

mettre en évidence le phénomène de diffraction.

2-3 Sur cette même fente, on dirige une onde ultrason de fréquence  $2MHz$  le phénomène de diffraction est-il mis en évidence? Justifier.

Solution:

1- Appliquons la formule:  $\lambda = \frac{v}{N}$  et calculons les longueurs d'ondes extrêmes:

$$\text{- Pour } N = 20Hz, \lambda = \frac{340}{20} = 17m$$

$$\text{- Pour } N = 20kHz, \lambda = \frac{340}{20 \cdot 10^3} = 1,7 \cdot 10^{-2} m = 1,7 cm$$

Le domaine de longueur d'ondes sonores audibles par l'oreille humaine est compris entre  $1,7cm$  et  $17m$ .

2-1 Comme toutes les ondes sonores, les ultrasons ont une célérité dans l'air égale à  $340 m.s^{-1}$

2-2 Le phénomène de diffraction se manifeste si la largeur  $a$  de la fente est de même ordre de grandeur que la longueur d'onde  $\lambda$  de l'onde, et comme  $\lambda = \frac{v}{N} = \frac{340}{24 \cdot 10^3} = 0,0141m$  donc:  $a = 1,36cm$

2-3 Pour une onde ultrason de fréquence  $2MHz$ . la longueur d'onde associée est:  $\lambda = \frac{v}{N} = \frac{340}{2 \cdot 10^6} = 1,7 \cdot 10^{-4} m$

Et comme  $a \gg \lambda$  nous pouvons conclure qu'il n'y aura pas le phénomène de diffraction.

## 4- Milieu dispersif

Un milieu est dit dispersif si la célérité des ondes progressives dépend de leur fréquence.

Exemple:

- La surface de l'eau est un milieu dispersif pour les ondes qui s'y propagent.
- L'air est un milieu non dispersif pour les ondes sonores.