ONDES MECANIQUES PROGRESSIVES PERIODIQUES

1- L'onde mécanique progressive périodique

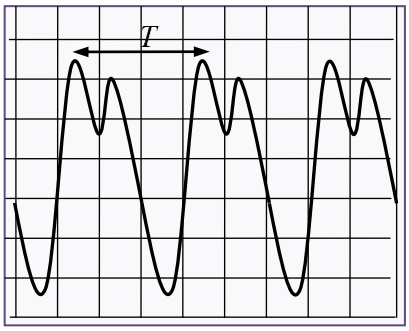
1-1 Définition

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.

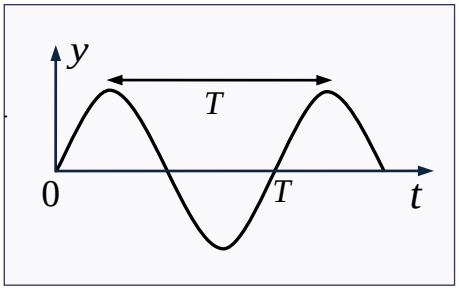


- L'onde mécanique progressive périodique se caractérise aussi par *une périodicité spatiale*, c'est la distance constante, séparant deux motifs identiques consécutifs.

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:

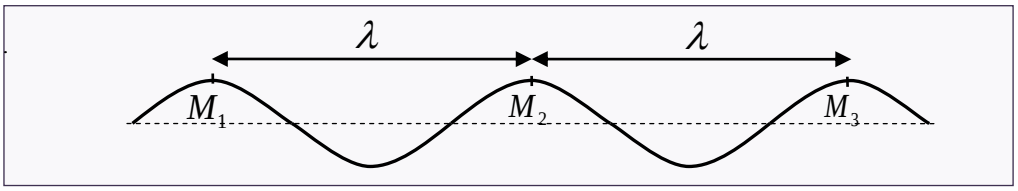
- Le son émis par le diapason est une onde progressive sinusoïdale.
- L'extrémité de la lame du vibreur génère une onde progressive sinusoïdale qui se propage le long de la corde.

2-2 Caractéristiques de l'onde sinusoïdale

a- Longueur d'onde

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

L'unité de λ 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 générale:

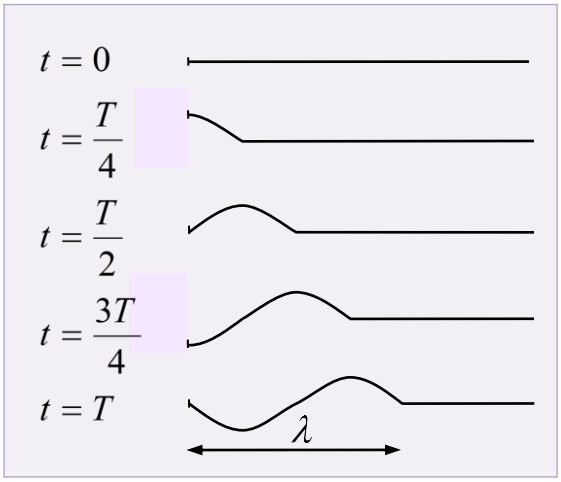
- ✓ Si $MM' = k\lambda$ on dit que M et M' vibrent *en phase*.
- ✓ Si $MM' = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}$ on dit que M et M' vibrent *en opposition de phase*.

b- La période et la fréquence

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

Nous écrivons: $\boxed{N = \dfrac{1}{T}}$

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



c- Célérité d'une onde sinusoïdale

Pendant la période T l'onde parcours la distance λ. Donc nous écrivons:

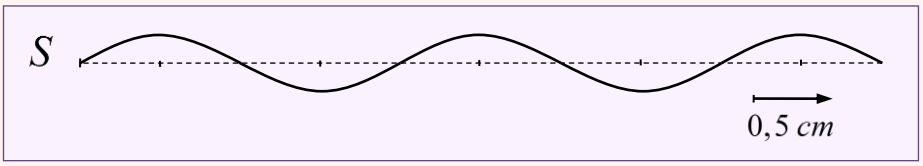
$$\boxed{v = \frac{\lambda}{T} = \lambda N}$$

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 :

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

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 $N_e = 99Hz$ et $N_e = 101Hz$. 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 apparait immobile, on trouve $N = 100Hz$. D'où: $\boxed{T = 0,01s}$

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

D'où: $\boxed{v = 2\ m.s^{-1}}$

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

∗ Si la fréquence des éclairs est légèrement inférieure à celle de l'onde $(N_e = 99Hz)$. 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 $(N_e = 101Hz)$. La corde apparaît en mouvement ralenti dans le sens inverse du sens réel de la propagation de l'onde.

3- Le phénomène de diffraction

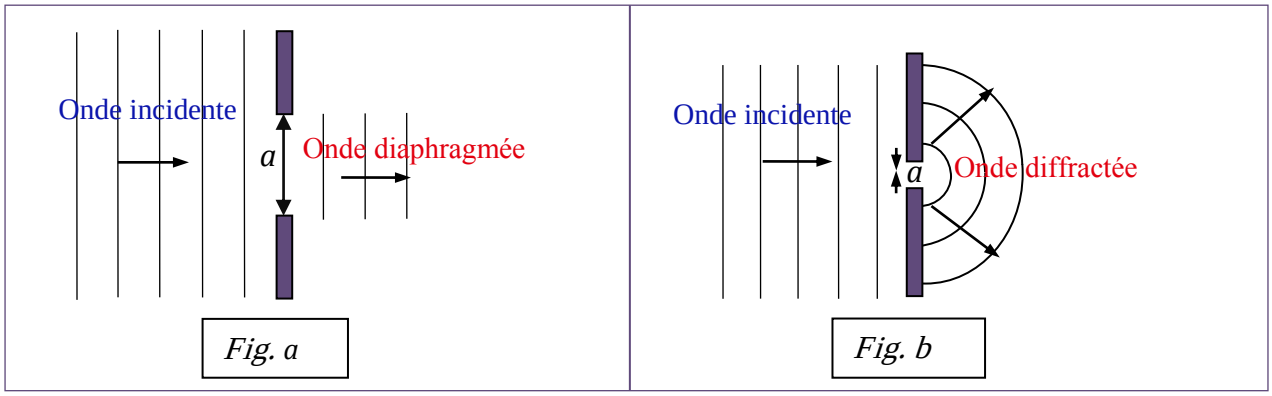
Lorsqu'une onde progressive sinusoïdale traverse une ouverture de largeur a ou lorsqu'elle rencontre un obstacle de largeur a, il peut y avoir une modification de la structure de l'onde si la largeur a vérifie certaines conditions. (voir activité 4)

Diffraction à la surface de la mer

- Premier cas: la largeur a de l'ouverture (fente) est grande par rapport à la longueur d'onde λ $(a \gg \lambda)$: 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 d'onde λ 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).

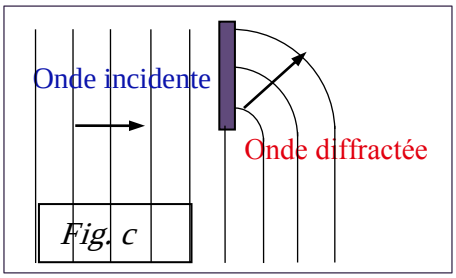


Remarque:

✓ 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 $20\,Hz$ et $20\,kHz$

Au-delà de $20\,kHz$ 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 capable de les percevoir.

1- Sachant que la célérité des ondes sonores dans l'air est égale à $340\,m.s^{-1}$ 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 $24\,kHz$

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 $2\,MHz$ 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:

- Pour $N = 20\,Hz$, $\lambda = \frac{340}{20} = 17\,m$
- Pour $N = 20\,kHz$, $\lambda = \frac{340}{20.10^3} = 1,7.10^{-2}\,m = 1,7\,cm$

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

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 λ de l'onde, et comme $\lambda = \frac{v}{N} = \frac{340}{24.10^3} = 0,0141\,m$ donc: $a = 1,36\,cm$

2-3 Pour une onde ultrason de fréquence $2\,MHz$. la longueur d'onde associée est: $\lambda = \frac{v}{N} = \frac{340}{2.10^6} = 1,7.10^{-4}\,m$

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.