

Leçon N°2 : **Les ondes mécaniques progressives périodiques**

Introduction

La houle (onde de la mer) peut être considérée comme une **onde mécanique périodique**.

- ➔ Qu'est-ce qu'une onde mécanique périodique ?
- ➔ Quelles sont ses caractéristiques ?



I. Rappel : phénomène périodique

1. Définition

En physique, un phénomène est dit périodique s'il se répète de la même manière à intervalles de temps réguliers.

Exemple :

Battements du cœur, mvt des aiguilles d'une montre, rotation de la terre, ... etc.

Ces phénomènes sont caractérisés par leurs *période* T , il représente la *plus petite durée au bout de laquelle le phénomène se répète de la même manière*.

2. Analyse d'un phénomène périodique rapide

Dans certains cas, le phénomène périodique est rapide, donc il est difficile de déterminer son période, on utilise alors un appareil appelé *stroboscope*, c'est un appareil qui émet des éclairs de lumière pendant des **périodes de temps T_S** égales, que nous contrôlons grâce à sa **fréquence N_S** .

Exemple :

On fait éclairer un disque noir avec une tâche blanche, qui en mouvement de rotation de **période T** , par un stroboscope, on distingue alors trois cas :

- **1^{er} cas** : si $T_S = k.T$, ç-à-d $N_S = k.N$, tel que k est un nombre entier naturel.

A l'instant $t = 0$, le stroboscope émet le 1^{er} éclair, et au cours de la période T_S , la tâche met un nombre k des tours entre le 1^{er} et le 2^{ème} éclair, ce qui paraît la tâche *visuellement immobile*.

- **2^{ème} cas** : si $T_S > k.T$, ç-à-d $N_S < k.N$.

La tâche apparaît comme s'il tournait lentement selon le sens de rotation du disque.

- **3^{ème} cas** : si $T_S < k.T$, ç-à-d $N_S > k.N$.

La tâche apparaît comme s'il tournait lentement selon le sens inverse du sens de rotation du disque.



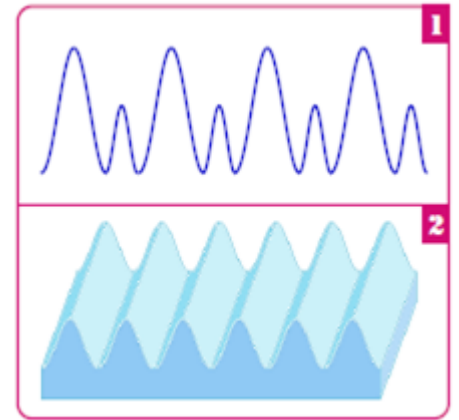
II. Les ondes mécaniques progressives périodiques

1. Définition

L'onde mécanique progressive périodique est le phénomène de propagation d'une perturbation périodique dans un milieu matériel élastique.

Exemples :

- Fig.1 : Onde sonore périodique émet par un instrument musical.
- Fig.2 : Onde périodique propagée à la surface de l'eau.



2. La périodicité temporelle et la périodicité spatiale

a. La périodicité temporelle – Période T

La périodicité temporelle (période T) : est la petite durée au bout de laquelle la perturbation se reproduit identique à elle-même. Son unité dans le (S.I) est : seconde (s).

La fréquence N d'une onde périodique représente le nombre des périodes T effectuées pendant une seconde, elle définit par :

$$N = \frac{1}{T}$$

Son unité dans le (S.I) est : Hertz (Hz).

Exemple : Mesure de la période à partir d'un oscilloscope

Déterminer à partir de la figure ci-contre, la période T, et la fréquence N.

On donne : la sensibilité horizontale $S_H = 5 \text{ ms/div}$.

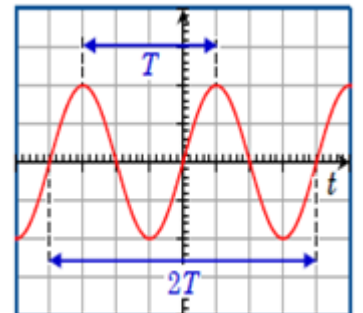
Réponse :

- La période T :

$$T = X \times S_H = 4 \times 5 = 20 \text{ ms}$$

- La fréquence N :

$$N = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-3}} = 50 \text{ Hz}$$



b. La périodicité spatiale – Longueur d'onde λ

La périodicité spatiale (longueur d'onde λ) : est la petite distance séparant deux points successifs ayant le même état de vibration, ou c'est la distance parcourue par l'onde pendant une période T. Son unité dans le (S.I) est : mètre (m).

Exemple : Mesure de la longueur d'onde d'une onde propagée à la surface de l'eau.

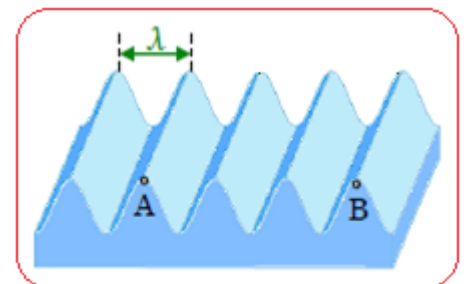
Déterminer à partir de la figure ci-contre, la longueur d'onde λ .

On donne : $AB = 12 \text{ cm}$.

Réponse :

$$AB = 3\lambda$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{AB}{3} = \frac{12}{3} = 4 \text{ cm}$$



c. Comparaison de l'état de vibration de deux points du milieu de propagation

Pour comparer l'état de vibration de deux points M et N d'un milieu lors de la propagation d'une onde mécanique progressive périodique, on compare la *distance MN* avec la *longueur d'onde λ* :

- Si : $\frac{MN}{\lambda} = k$, alors les deux points M et N vibrent **en phase**.
- Si : $\frac{MN}{\lambda} = k + \frac{1}{2}$, alors les deux points M et N vibrent **en opposition de phase**.

Tel que k est un nombre entier naturel

Exemple :

Comparer l'état de vibration des points **A et B**, **A et C**, et **A et D**.

Réponse :

- **A et B :**

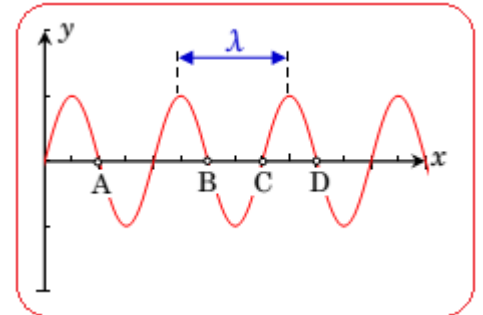
$$\frac{AB}{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda} = 1 \quad \Rightarrow \quad \text{A et B vibrent en phase.}$$

- **A et C :**

$$\frac{AC}{\lambda} = \frac{\lambda + \lambda/2}{\lambda} = 1 + \frac{1}{2} \quad \Rightarrow \quad \text{A et C vibrent en opposition de phase.}$$

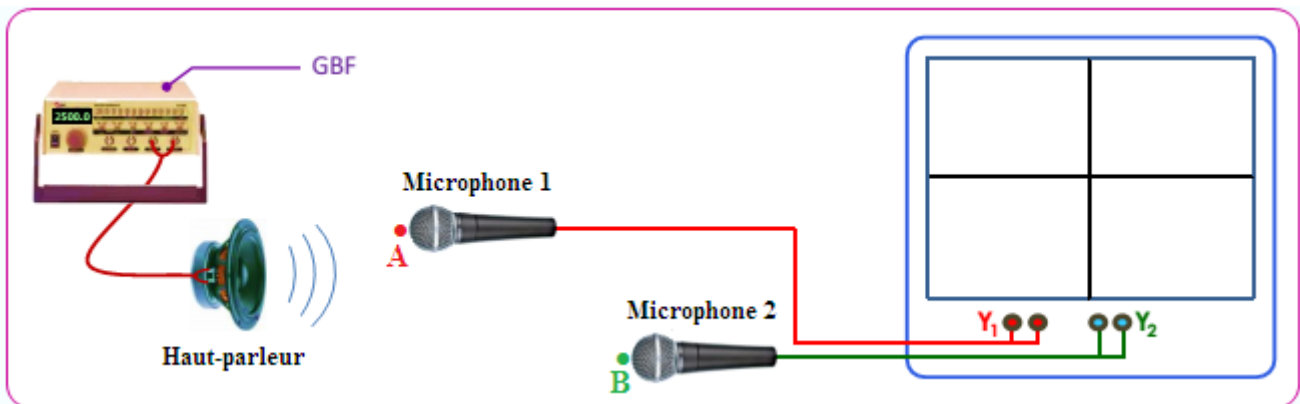
- **A et D :**

$$\frac{AD}{\lambda} = \frac{2\lambda}{\lambda} = 2 \quad \Rightarrow \quad \text{A et D vibrent en phase.}$$



Remarque :

Pour déterminer expérimentalement l'état de vibration de deux points A et B d'un milieu, dans lequel une *onde sonore périodique* se propage, on utilise le montage suivant :



Les microphones (1) et (2) reçoivent l'onde sonore périodique dans les deux points A et B, et la convertit en deux *signaux électriques périodiques*, qui sont visualisés après sur l'oscilloscope.

- Si les deux signaux visualisés sur l'oscilloscope **en phase** (figure 1), alors les deux points A et B vibrent **en phase**.
- Si les deux signaux visualisés sur l'oscilloscope **en opposition de phase** (figure 2), alors les deux points A et B vibrent **en opposition de phase**.

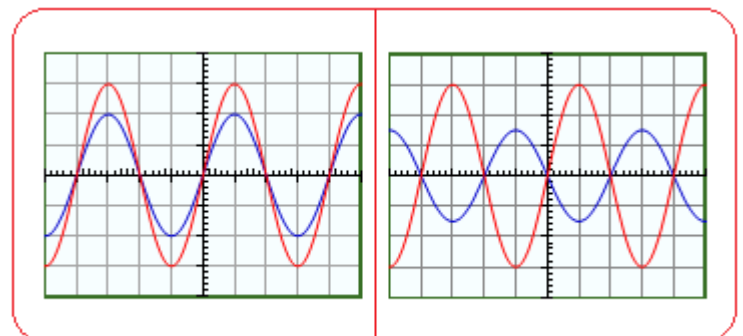


Fig.1

Fig.2

III. L'onde mécanique progressive sinusoïdale

1. Définition

Une onde mécanique progressive périodique est dite *sinusoïdale* si l'évolution temporelle de l'élongation $y(t)$ de sa source est une *fonction sinusoïdale*. Il est exprimé par la relation :

$$y(t) = Y_{max} \cos \left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0 \right)$$

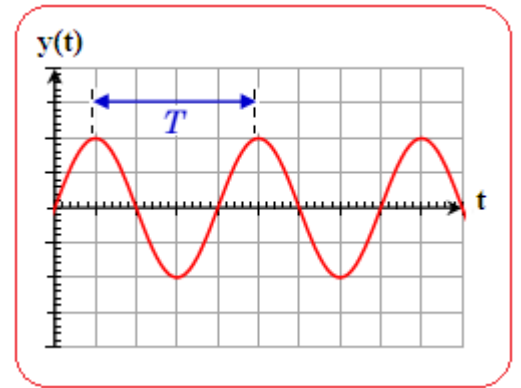
Y_{max} : est l'amplitude de l'onde en *mètre (m)*.

T : est la période de l'onde en *seconde (s)*.

φ_0 : est la phase de l'onde à l'origine en *radian (rad)*.

Exemple :

L'onde périodique propagée à la surface de l'eau peut être considérée comme une onde sinusoïdale.



2. Vitesse de propagation

On définit la vitesse de propagation d'une onde périodique par la relation suivante :

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

λ : Longueur d'onde (*m*).

T : Période de l'onde (*s*).

N : Fréquence de l'onde (*Hz*).

Exemple :

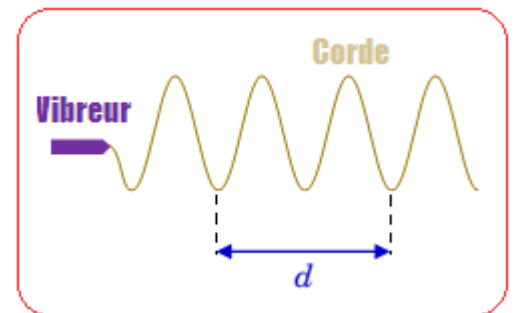
Un vibreur de fréquence $N = 15 \text{ Hz}$ crée une onde sinusoïdale le long d'une corde.

Déterminer la vitesse v de propagation de l'onde.

On donne : $d = 8 \text{ cm}$.

Réponse :

$$v = \lambda \times N = \frac{d}{2} \times N = \frac{8 \times 10^{-2}}{2} \times 15 = 0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

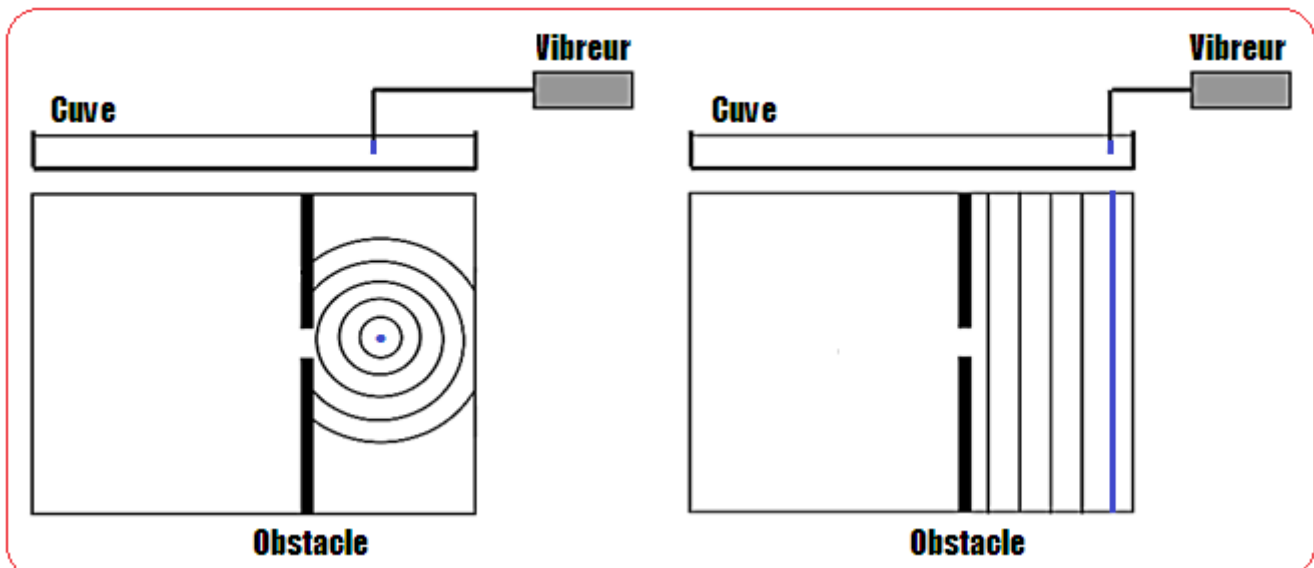


IV. Diffraction d'une onde mécanique progressive périodique

1. Présentation du phénomène

On peut créer à la surface de l'eau d'une cuve à onde :

- Soit une onde *circulaire* périodique à l'aide d'une pointe vibreur.
- Soit une onde *rectiligne* périodique à l'aide d'une règle relié au vibreur.



Question : Que se passe-t-il à ces ondes, lorsqu'elles rencontrent une ouverture (ou un obstacle) de petite dimension ?

On constate que :

- L'onde rectiligne change sa forme lors du passage de l'obstacle, et devient circulaire.
- Pour l'onde circulaire, une autre onde périodique circulaire apparaît au niveau de la fente de l'obstacle (et non pas de la source).

Conclusion : Une ouverture ou un obstacle interposé sur le trajet d'une onde mécanique périodique se comporte comme une *source secondaire de même fréquence* que la source primaire créant cette onde, c'est le **phénomène de diffraction**.

2. Condition de diffraction

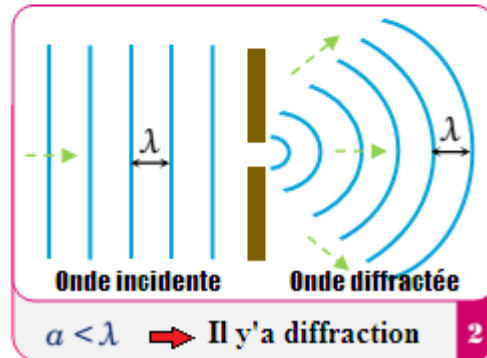
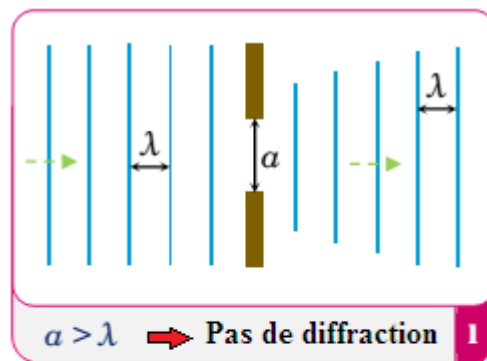
Le phénomène de diffraction est une caractéristique des ondes. Il se manifeste lorsque la *largeur a* de la fente de l'obstacle est inférieure à la *longueur d'onde λ* :

$$a < \lambda$$

- L'onde rectiligne propagée devant la fente est appelée *onde incidente*.
- L'onde circulaire qui apparaît derrière la fente est appelée *onde diffractée*.

Remarque :

L'onde incidente et l'onde diffractée ont les mêmes propriétés, ç-à-d, la même *longueur d'onde λ*, la même *fréquence N*, la même *période T*, et la même *vitesse de propagation v*.



V. Le milieu dispersif

Un milieu de propagation est *dispersif*, si la *vitesse v* de propagation d'une onde dans ce milieu dépend de sa *fréquence N*.

Exemple :

Fréquence (Hz)	20	25	30	35
Vitesse ($m.s^{-1}$)	0,200	0,225	0,240	0,245
Tableau : 1	Vitesse de propagation d'une onde à la surface de l'eau			

Fréquence (Hz)	400	2000	6300	12500
Vitesse ($m.s^{-1}$)	343	343	343	343
Tableau : 2	Vitesse de propagation d'une onde sonore dans l'air			

➤ L'eau est un milieu dispersif

➤ L'air est un milieu non dispersif des ondes sonores