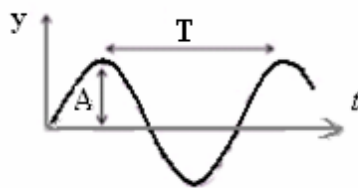


# Les ondes mécaniques progressives périodiques

## I-L'onde mécanique progressive périodique :

### 1) Définition:

Une onde est périodique si elle se répète identiquement à elle-même pendant des mêmes intervalles de temps appelés période  $T$ . Elle est dite sinusoïdale si sa variation est une sinusoïde en fonction du temps et l'élongation d'un point du milieu de propagation s'écrit de la manière suivante:



$$y(t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right)$$

$y(t)$ : l'élongation à un instant  $t$  en (m).

$A$ : l'amplitude (élongation maximale) en (m).

$T$ : la période (périodicité temporelle) La fréquence :  $\nu = \frac{1}{T}$  (Hz).

$\varphi$ : La phase à l'origine, elle se détermine à partir des conditions initiales. (en rad)

### 2) Exemple:

En produisant un son à l'aide d'un haut parleur lié à un générateur (GBF) devant un microphone lié à un oscilloscope on obtient l'enregistrement suivant:



Sensibilité horizontale utilisée :  $0,5 \text{ ms/div}$

Or la période  $T$  est représentée par  $2,5 \text{ div}$ , la période de l'onde sonore émise par le haut parleur est:

$$T = 2,5 \text{ div} \times 0,5 \text{ ms/div} = 1,25 \text{ ms}$$

$$\text{sa fréquence : } \nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,25 \cdot 10^{-3}} = 800 \text{ Hz}$$

### 3) Notion de stroboscopie:

La stroboscopie est une méthode d'observation d'un mouvement en utilisant le stroboscope qui est un appareil qui émet des éclairs périodiques selon des fréquences réglables.

Dans cette étude stroboscopique on utilise un disque blanc comportant une tâche noire fixée sur l'axe de rotation d'un moteur.



stroboscope

$\nu_e$ : fréquence des éclairs

$T_e$ : période des éclairs



disque

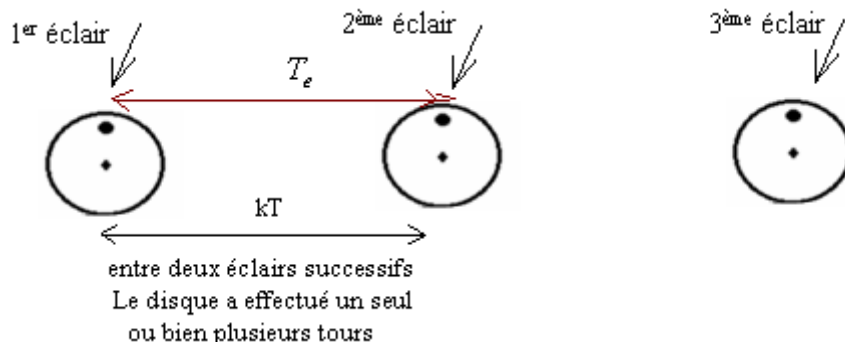
$\nu$ : fréquence de rotation du disque.

$T$ : période de rotation du disque.

Durant la rotation le disque apparaît blanc, l'œil ne peut pas suivre le mouvement de la tâche et lorsqu'on l'éclaire avec le stroboscope on s'intéresse aux trois cas suivants : l'immobilité apparente et le mouvement apparent ralenti dans le même sens puis celui dans le sens contraire du mouvement de rotation du disque et cela suivant les fréquences du stroboscope.

Interprétation:

\* Dans le cas de l'immobilité apparente : on observe que la tâche est immobile car elle est éclairée au même endroit.



La relation entre la période des éclairs et celle de rotation du disque.  $T_e = kT$  avec  $k \in \mathbb{N}^*$   $\Rightarrow \nu = k\nu_e$

La plus grande fréquence des éclairs qui permet d'avoir l'immobilité apparente correspond à  $k=1$  donc :

$$\nu_e = \nu$$

\* Cas du mouvement ralenti apparent :

-On obtient un mouvement ralenti apparent dans le même sens de rotation du disque si  $\nu_e$  est légèrement inférieure à  $\nu$ .

-On obtient un mouvement ralenti apparent dans le sens contraire de rotation du disque si  $\nu_e$  est légèrement supérieure à  $\nu$ .

## II-Exemples d'ondes mécaniques progressives périodiques

### 1) Onde progressive le long d'une corde:

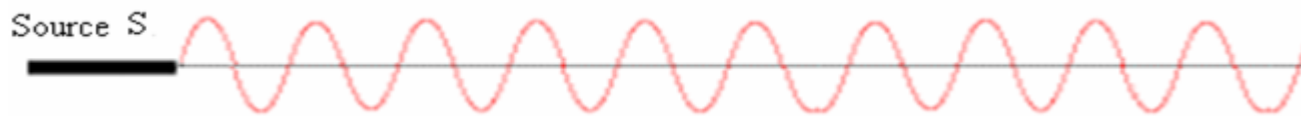
#### a)Expérience:

On utilise une corde élastique tendue horizontalement par un corps suspendu comme l'indique la figure suivante .La corde est attachée en S au bout d'une lame vibrante dont le mouvement est entretenu par un électro-aimant alimenté par un courant alternatif.



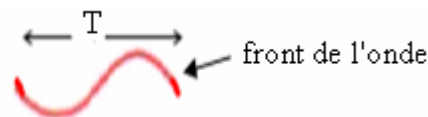
Lorsque la lame vibre avec une fréquence  $\nu = 100\text{Hz}$ , la corde paraît floue, ce qui prouve que tous ses points sont en mouvement.

En utilisant le stroboscope et en le réglant sur la fréquence  $\nu_e = \nu = 100\text{Hz}$ , on obtient l'immobilité apparente de l'onde progressive.



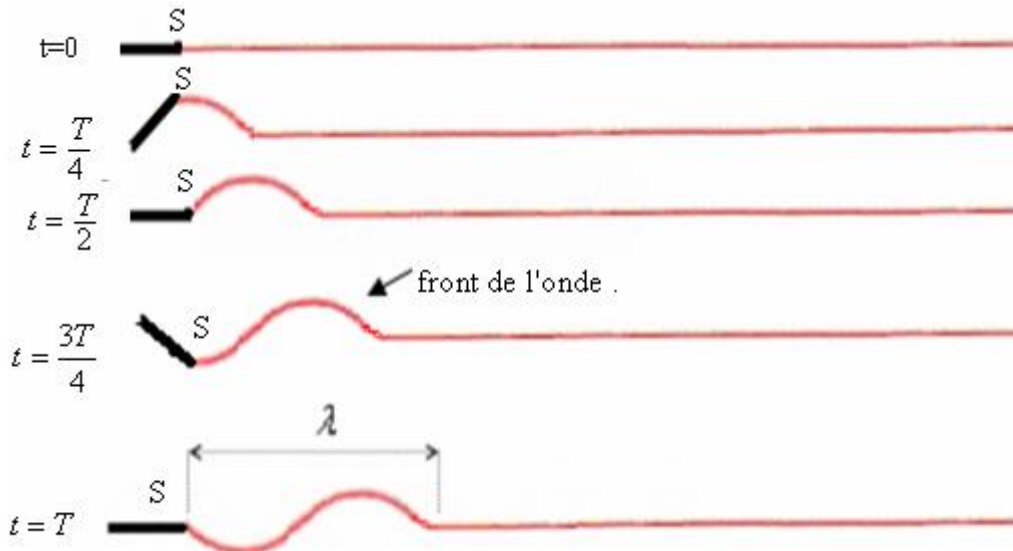
En réglant le stroboscope sur la fréquence  $\nu_e = 99\text{Hz}$ , on obtient le mouvement apparent ralenti dans le même sens de propagation de l'onde et en le réglant sur la fréquence  $\nu_e = 101\text{Hz}$ , on obtient le mouvement apparent ralenti dans le sens contraire de celui de propagation de l'onde.

la forme de l'onde progressive :



T: périodicité temporaire (période de l'onde progressive)

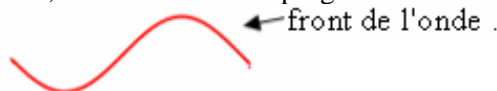
Faisons des représentations successives de l'aspect de la corde pendant des intervalles de temps successifs et égaux à  $T/4$  (T étant la période de vibration de la source) :



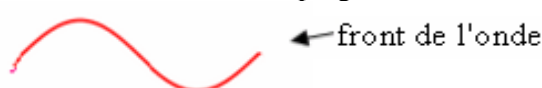
$\lambda$  : Longueur d'onde (périodicité spatiale).

Remarque: le front de l'onde dépend du mouvement initial de la lame vibrante.

-Si la lame vibrante à  $t=0$  se déplace vers le haut, la forme de l'onde progressive:



-Si la lame vibrante à  $t=0$  se déplace vers le bas, la forme de l'onde progressive:



#### b) Définition de la longueur d'onde:

La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période T.

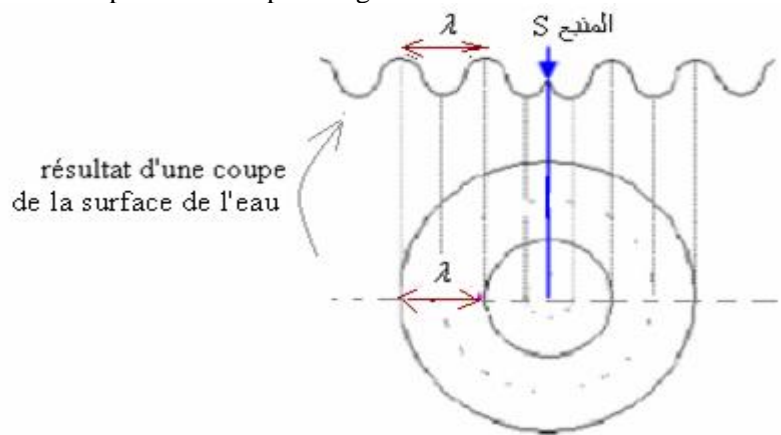
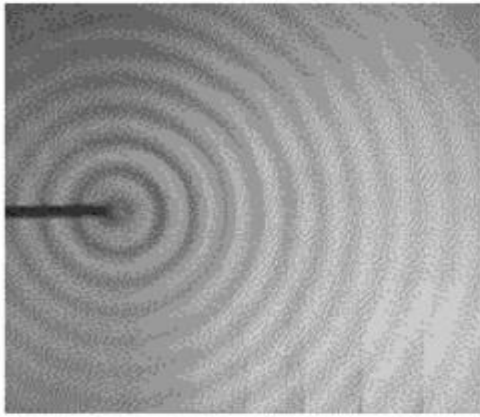
$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$$

$\lambda$  : Longueur d'onde (m)     $v$  : célérité de propagation de l'onde (m/s)     $\nu$  : fréquence de l'onde progressive = fréquence de la source (Hz)

## 2) Onde progressive à la surface de l'eau:

### a) Cas de l'onde circulaire:

On provoque une onde circulaire dans une cuve à onde par une source vibrante. Pour obtenir l'immobilité apparente on éclair la surface de l'eau par un stroboscope dont la fréquence est réglée sur une valeur égale à la fréquence de vibration de l'onde progressive c'est-à-dire celle de la source vibrante. On obtient par stroboscopie la figure suivante.



La distance entre deux crêtes successives représente la longueur d'onde.

La coupe de la surface de l'eau montre que l'onde circulaire à la surface de l'eau est transversale.

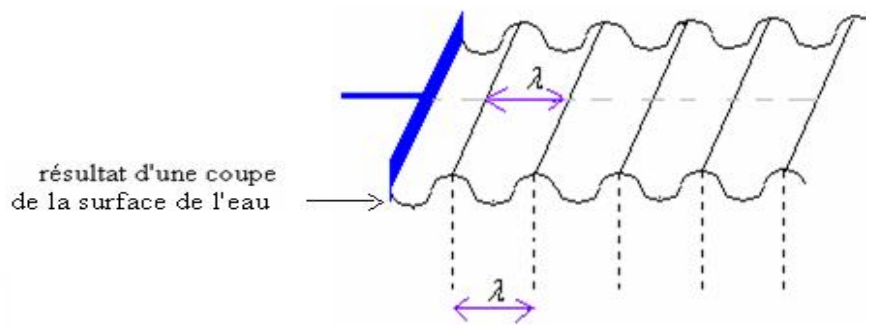
#### Application :

Sachant que la célérité de propagation de l'onde est  $v=2,5\text{m/s}$  et la longueur de l'onde progressive est  $\lambda = 1\text{cm}$  Quelle est la fréquence de vibration de la source?

$$\nu = \frac{v}{\lambda} = \frac{2,5}{10^{-2}} = 250\text{Hz}$$

### b) Cas de l'onde rectiligne:

On provoque une onde rectiligne dans une cuve à onde en utilisant une plaque vibrante et on éclair la surface de l'eau par un stroboscope dont la fréquence est réglée sur une valeur égale à celle de vibration de source (c'est-à-dire celle l'onde progressive) pour obtenir l'immobilité apparente et on obtient la figure suivante.



La coupe de la surface de l'eau montre que l'onde rectiligne à la surface de l'eau est aussi transversale.

#### Application :

Dans l'expérience précédente, sachant que la plus grande fréquence du stroboscope qui permet d'obtenir l'immobilité apparente est 250Hz.

En mesurant la longueur de l'onde progressive on obtient  $\lambda = 0,8\text{cm}$ .

- Quelle est la fréquence de l'onde progressive ? Justifier votre réponse.
- Déterminer la célérité de propagation de l'onde progressive.

a) La fréquence de l'onde progressive  $\nu = 250\text{Hz}$ , car la plus grande fréquence l'immobilité apparente est :  $\nu_s = \nu = 250\text{Hz}$ .

b) la célérité de propagation de l'onde progressive.

$$v = \lambda \cdot \nu = 0,8 \cdot 10^{-2} \times 250 = 2\text{m/s}$$

## 3) Onde sonores et ondes ultrasonores:

### a) Les ondes sonores:

Les ondes sonores sont des ondes mécaniques périodiques longitudinales résultant de la compression et la dilatation des constituants du milieu de propagation.

La célérité d'une onde sonore est d'autant plus grande que la densité du milieu est élevée. ( $c_{\text{gaz}} < c_{\text{liquide}} < c_{\text{solide}}$ ).

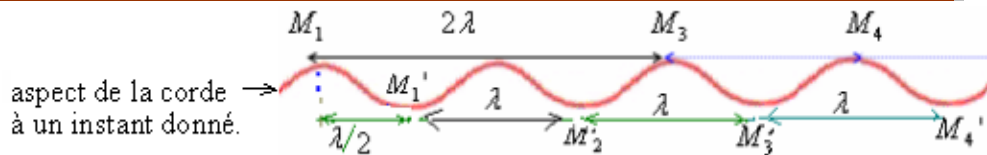
### b) Les ondes ultrasonores:

Les ondes ultrasonores sont des ondes sonores dont la fréquence est supérieure à 20kHz, ils sont inaudibles et ils se réfléchissent partiellement sur un obstacle.

(les ultrasons ne sont pas entendus par l'homme mais certains animaux comme les chauves souris, les dauphins ou les baleines sont capable de les percevoir.)

## III-Détermination expérimentale de la célérité de propagation d'une onde sonore:

### a) Comparaison du mouvement de deux points du milieu de propagation:



aspect de la corde à un instant donné.

$M_1M_3 = 2\lambda$   $M_1$  et  $M_3$  vibrent en phase. (Elles effectuent le même mouvement en même temps)

$M_3M_4 = \lambda$   $M_3$  et  $M_4$  vibrent en phase.

$M_1M_4 = 3\lambda$   $M_1$  et  $M_4$  vibrent en phase.

En général, deux points  $M$  et  $M'$  du milieu de propagation vibrent en phase si la distance qui les sépare est un multiple de la longueur d'onde  $\lambda$  :  $MM' = k \cdot \lambda$ ,  $k \in \mathbb{N}^*$

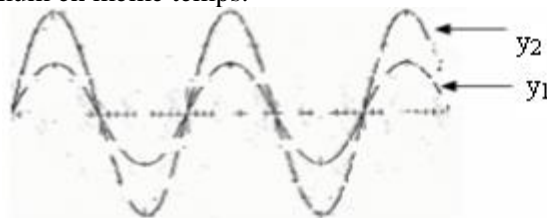
$M_1M'_1 = \lambda/2$   $M_1$  et  $M'_1$  vibrent en opposition de phase.

$M_1M'_2 = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$   $M_1$  et  $M'_2$  vibrent en opposition de phase.

$M_1M'_3 = 5 \cdot \frac{\lambda}{2}$   $M_1$  et  $M'_3$  vibrent en opposition de phase.

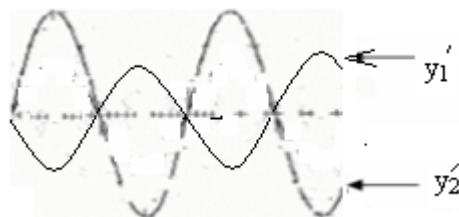
En général, deux points  $M$  et  $M'$  du milieu de propagation vibrent en opposition si la distance qui les sépare est un nombre impair de la demi-longueur d'onde.  $MM' = (2k'+1) \cdot \frac{\lambda}{2}$   $k \in \mathbb{N}$

Remarque: On dit que deux fonctions sinusoïdales sont en phase si elles s'annulent en même temps et elles atteignent leur maximum et leur minimum en même temps.



$y_1$  et  $y_2$  sont en phase.

On dit que deux fonctions sinusoïdales sont en opposition de phase si elles s'annulent en même temps mais l'une est maximale quand l'autre est minimale.



$y'_1$  et  $y'_2$  sont en opposition de phase.

### Application :

En mesurant dans une cuve à onde la longueur de l'onde progressive on trouve :  $\lambda = 2\text{cm}$

Comparer le mouvement de deux points  $M$  et  $N$  du milieu de propagation dans chacun des cas suivants :

a)  $MN=6\text{cm}$ .

b)  $MN=7\text{cm}$

Correction:

a) on :  $\frac{MN}{\lambda} = \frac{6}{2} = 3 \Rightarrow MN = 3\lambda$  La distance qui les sépare est un multiple de  $\lambda$ . Les deux points vibrent en phase.

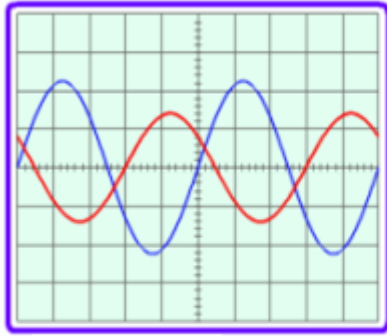
b)  $\frac{MN}{\lambda} = \frac{7}{2} = 3,5 \Rightarrow MN = 3,5\lambda$ . La distance qui les sépare n'est pas un multiple de  $\lambda$ . Les deux points ne vibrent pas en phase

et on a :  $\frac{MN}{\lambda/2} = \frac{7}{1} = 7 \Rightarrow MN = 7 \times \frac{\lambda}{2}$  (La distance est un nombre impair de  $\frac{\lambda}{2}$ ). Les deux points vibrent en opposition de phase.

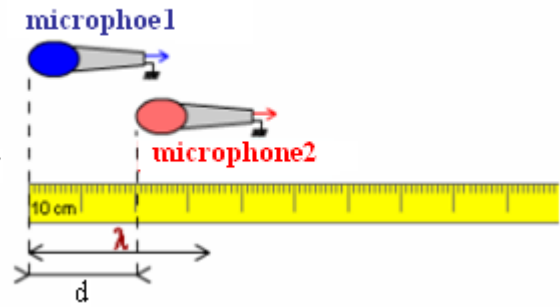
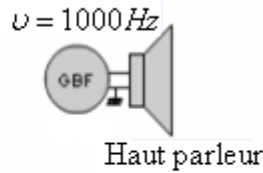
### b) Expérience des deux microphones:



Pour déterminer la vitesse de propagation du son émis par un haut-parleur dans l'air on utilise le montage suivant:  
Après avoir activé le haut parleur on visualise sur l'écran de l'oscilloscope le signal correspondant à chacun des microphones  $M_1$  et  $M_2$ .



$s=0,2ms/div$



Lorsque les deux microphones sont placés côte à côte face au haut parleur et à la même distance de lui, les deux signaux correspondant à  $M_1$  et à  $M_2$  sont en phase.

Pour un son de fréquence de  $10^3$  Hz émis, on laisse le microphone  $M_1$  à sa place et on déplace le microphone  $M_2$  lentement et parallèlement à l'axe du haut-parleur.

On indique la distance  $d$  chaque fois que les deux signaux sont en phase et on obtient les résultats suivants:

$d$ (cm)	34	68	102	136
----------	----	----	-----	-----

Or deux points du milieu de propagation vibrent en phase si la distance qui les sépare est un multiple de la longueur d'onde  $d = k\lambda$

Donc: Pour  $k=1$   $d = \lambda = 34cm$

Pour  $k=2$   $d = 2\lambda = 68cm$

Pour  $k=3$   $d = 3\lambda = 102cm$

Pour  $k=4$   $d = 4\lambda = 136cm$

Donc la longueur de l'onde sonore émise par le haut parleur est :  $\lambda = 34cm$

Elle correspond à la plus petite distance  $d$  pour laquelle les signaux sont pour la première fois en phase.

On a :  $T = 0,2ms / div \times 5div = 10^{-3}s$

La célérité de propagation de l'onde sonore émise par le haut parleur:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{0,34m}{10^{-3}s} = 340m/s$$

#### IV-Phénomène de diffraction:

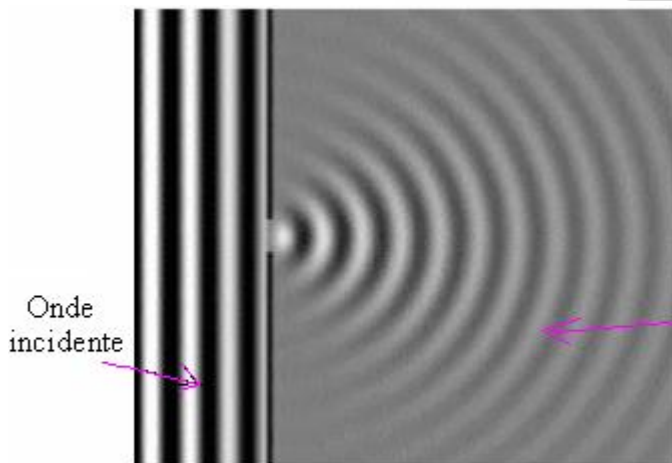
##### 1) Définition:

La diffraction est un phénomène qui caractéristique des ondes, il se produit lorsque l'onde passe à travers une ouverture de taille comparable à la longueur d'onde ( $a \approx \lambda$ ).

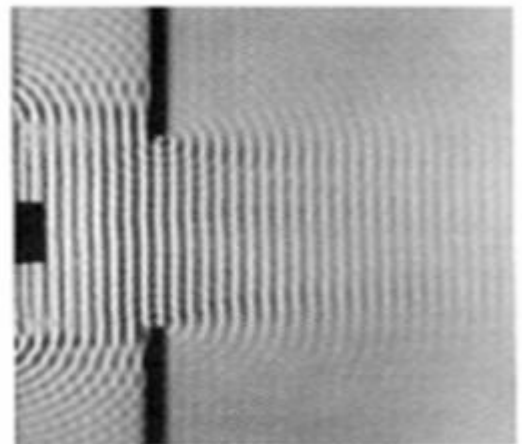
C'est la modification de la forme d'une onde passant par une ouverture de largeur  $a \leq \lambda$ .

##### 2) Onde diffractée à la surface de l'eau:

On utilise une cuve à onde muni d'une plaque vibrante devant laquelle on place un diaphragme comportant une ouverture de largeur  $a$ .



$a \leq \lambda$  On obtient la diffraction



$a > \lambda$  pas de diffraction

L'ouverture se comporte comme une source ponctuelle donnant naissance à des ondes circulaires.

L'onde incidente et l'onde diffractée ont la même longueur d'onde et même célérité de propagation mais des directions de propagation différentes.

## V-Phénomène de dispersion:

1) **Définition:** Dans un milieu dispersif, la célérité de l'onde dépend de la fréquence.

2) **Exemple:**

On provoque une onde rectiligne dans une cuve à onde en utilisant une plaque vibrante et on éclair la surface de l'eau par un stroboscope dont la fréquence est réglée sur une valeur égale à la fréquence de vibration de source vibrante afin obtenir l'immobilité apparente. On mesure à l'aide d'une règle la longueur de l'onde.



$\nu(\text{Hz})$	20	27	30
$\lambda(\text{cm})$			
$v(\text{m/s})$			

1) En faisant varier la valeur de la fréquence de la source déterminer expérimentalement les valeurs de la longueur d'onde correspondante.

2) Donner la relation entre la longueur d'onde et la célérité de propagation de l'onde.

3) Compléter le remplissage du tableau.

4) Sachant que le milieu dispersif est celui dans lequel la célérité de propagation de l'onde dépend de sa fréquence, est ce que l'eau est un milieu dispersif?

.....réponse.....

1) résultat de l'expérience :

$\nu(\text{Hz})$	20	27	30
$\lambda(\text{cm})$	1,5	1,2	1,1

2) on a:  $\lambda = \frac{v}{\nu} \Rightarrow v = \lambda \nu$

3) Complétons le remplissage du tableau.

$\nu(\text{Hz})$	20	27	30
$\lambda(\text{cm})$	1,5	1,2	1,1
$v(\text{m/s})$	0,3	0,32	0,33

4) La célérité de propagation de l'onde change de valeur lorsqu'on fait varier la fréquence de vibration de la source.

La célérité de propagation de l'onde dépend de sa fréquence.

Par conséquence : l'eau est un milieu dispersif.

**Remarque 1** : D'après la célérité  $v$  de propagation de l'onde le long **de la corde**  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$

La célérité  $v$  de propagation de l'onde le long de la corde dépend de la tension  $F$  de la corde et de sa masse linéique  $\mu$ , mais pas de la fréquence  $N$  : la corde n'est pas un milieu dispersif.

**Remarque 2** : **Les sons et les ultrasons** ont des fréquences différentes, mais la célérité dans l'air est la même. L'air n'est donc pas un milieu dispersif pour ces ondes.

.....