

**Objectifs :**

- Reconnaître une onde progressive périodique et sa période.
- Définir pour une onde progressive sinusoïdale, la période, la fréquence, la longueur d'onde.
- Connaître et utiliser la relation  $\lambda = v T$ , connaître la signification et l'unité de chaque terme, savoir justifier cette relation par une équation aux dimensions.
- Savoir, pour une longueur d'onde donnée, que le phénomène de diffraction est d'autant plus marqué que la dimension d'une ouverture ou d'un obstacle est plus petite.
- Définir un milieu dispersif.
- Exploiter un document expérimental : détermination de la période, de la fréquence, de la longueur d'onde.
- Reconnaître sur un document un phénomène de diffraction.
- Réaliser un montage permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction dans le cas des ondes mécaniques, sonores ou ultrasonores.

**1. Notion d'onde mécanique progressive****1.1. Onde mécanique progressive périodique**

- Un mouvement est périodique s'il se répète à intervalles de temps égaux.

Sa période  $T$  est la plus petite durée au bout de laquelle le phénomène se reproduit identique à lui-même, son unité est la seconde.

Sa fréquence est le nombre de période par seconde elle est notée  $f$ , son unité est le Hertz (ou  $s^{-1}$ ), on a la

relation  $f = \frac{1}{T}$ .

- Une onde est progressive si la perturbation se propage dans le milieu et elle est périodique si la source de la perturbation a un mouvement périodique.

Exemples :

Corde reliée à un vibreur alimenté par un GBF

Cuve à onde qui crée des ondes à la surface de l'eau avec un système vibrant à fréquence connue.

**1.2. Onde progressive périodique sinusoïdale**

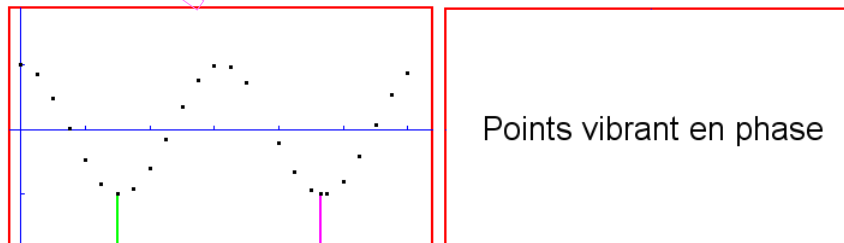
Une onde progressive périodique est qualifiée de sinusoïdale si, en chaque point  $M$  du milieu, la grandeur caractérisant la perturbation créée par l'onde est une fonction sinusoïdale du temps. (Cas très fréquent).

**2. Double périodicité****2.1. Périodicité temporelle**

- Ondes à une dimension, la corde de Melde.

Tous les points du milieu vibrent avec la même fréquence que la source qui crée l'onde.

Certains points vibrent de la même manière, ils ont le même mouvement et on dit qu'ils sont en phase.



- Onde à deux dimensions, à la surface de l'eau

Une pointe source vibre à la surface de l'eau de la cuve à onde.

Sans éclairage stroboscopique, les ondes se propagent à partir de la pointe source.

Avec l'éclairage stroboscopique, on constate que tous les points d'un front d'onde vibrent en phase. Entre deux fronts d'onde consécutifs, il y a toujours la même distance.



➤ Onde à trois dimensions, onde sonore :

Un haut parleur est relié à un GBF qui fournit une tension sinusoïdale. Le son émis est donc une onde mécanique sinusoïdale périodique.

Un micro relié à un oscillo est déplacé devant le HP, on visualise ainsi la tension aux bornes du micro, on constate que tous les points de l'air vibrent à la même fréquence.

(L'amplitude varie avec la position traduisant un amortissement de l'onde sonore car l'énergie transportée par l'onde est répartie sur une surface d'onde plus grande quand on s'éloigne de la source.)

**Conclusion :**

La source impose sa fréquence à tous les points du milieu élastique dans lequel l'onde se propage.

Une onde mécanique progressive périodique présente une périodicité temporelle.

La période  $T$ , identique en tout point du milieu, est la période temporelle.

La période temporelle, traduit le mouvement au cours du temps d'un point donné du milieu élastique.

Remarque : on peut mesurer la période temporelle d'une onde périodique lorsqu'on a la possibilité de « figer » la propagation à l'aide d'un éclairage stroboscopique. Il y a immobilité lorsque la plus petite période entre deux éclairs du stroboscope est égale à la période temporelle.

**2.2. Périodicité spatiale**

Lors de la propagation d'une onde mécanique progressive périodique, la perturbation engendrée pendant une période se répète identique à elle-même sur des distances égales dans la direction de propagation : on dit que l'onde présente une **périodicité spatiale**.

✱ **Définitions :**

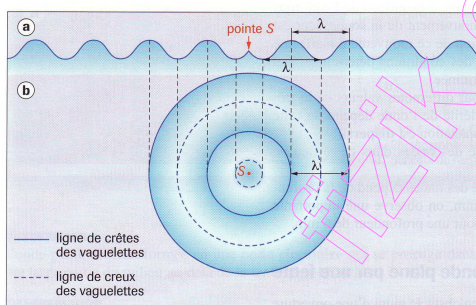
On appelle période spatiale d'une onde mécanique progressive périodique la distance constante, séparant deux motifs identiques et consécutifs.

La période spatiale d'une onde mécanique progressive périodique est égale à la distance de propagation de l'onde pendant une période temporelle

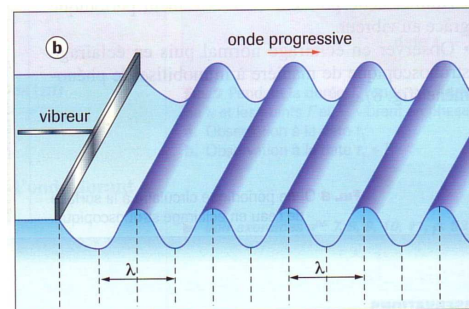
Deux points séparés d'une période spatiale ont le même mouvement au même instant.

Si l'onde est sinusoïdale, la période spatiale est appelée longueur d'onde, notée  $\lambda$ .

✱ **Mesure de période spatiale :**



**Fig. 9** Onde progressive circulaire à la surface de l'eau, observée à une date déterminée.  
a. Vue en coupe à une date où la pointe du vibreur passe à sa position d'équilibre.  
b. Vue de dessus; apparition de la longueur d'onde  $\lambda$ .



**Fig. 10** Onde progressive plane.

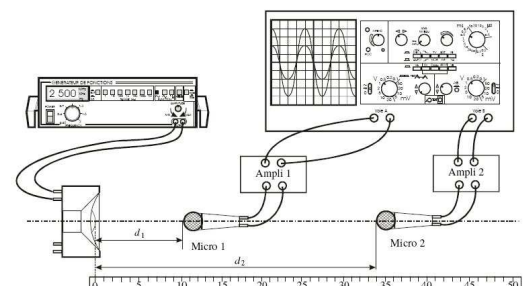
Pour avoir un maximum de précision, il faut mesurer la distance séparant le plus grand nombre de longueur d'onde puis diviser par ce nombre.

Pour le son

Pour déterminer la longueur d'onde d'une onde sonore, on place deux micros de manière à ce qu'ils fournissent des tensions en phase (le plus simple cote à cote), puis on recule l'un des deux micros jusqu'à ce que les deux tensions soient de nouveau en phase.

La distance entre les deux micros nous donne la longueur d'onde.

Pour améliorer la précision, il faut reculer le micro de plusieurs longueurs d'onde lorsque cela est possible.



### 2.3. Double périodicité

La longueur d'onde correspond au déplacement de l'onde en une période : c'est la période spatiale. C'est la plus petite distance, mesurée dans une direction de la propagation, séparant deux points en phase.

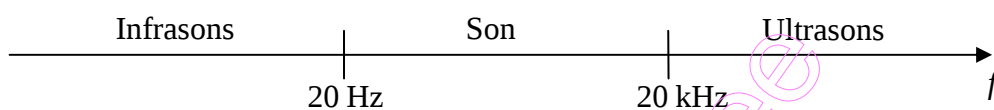
La période spatiale et la période temporelle sont liées : en effet, pendant une période  $T$ , l'onde s'est propagée de  $\lambda$ . On a donc  $\lambda = V T$  ou  $\lambda = \frac{V}{f}$ .

#### Équation aux dimensions et analyse dimensionnelle :

Les longueurs sont symbolisées par la lettre  $L$ ,  
Les masses par la lettre  $M$ ,  
Les temps par la lettre  $T$ .

On peut justifier la relation  $\lambda = V T$  par une analyse dimensionnelle :  $[\lambda] = [V T] = \frac{L}{T} T = L$  cela montre bien que  $\lambda$  est une longueur.

Remarques : domaines de fréquences des sons (pour l'oreille humaine)

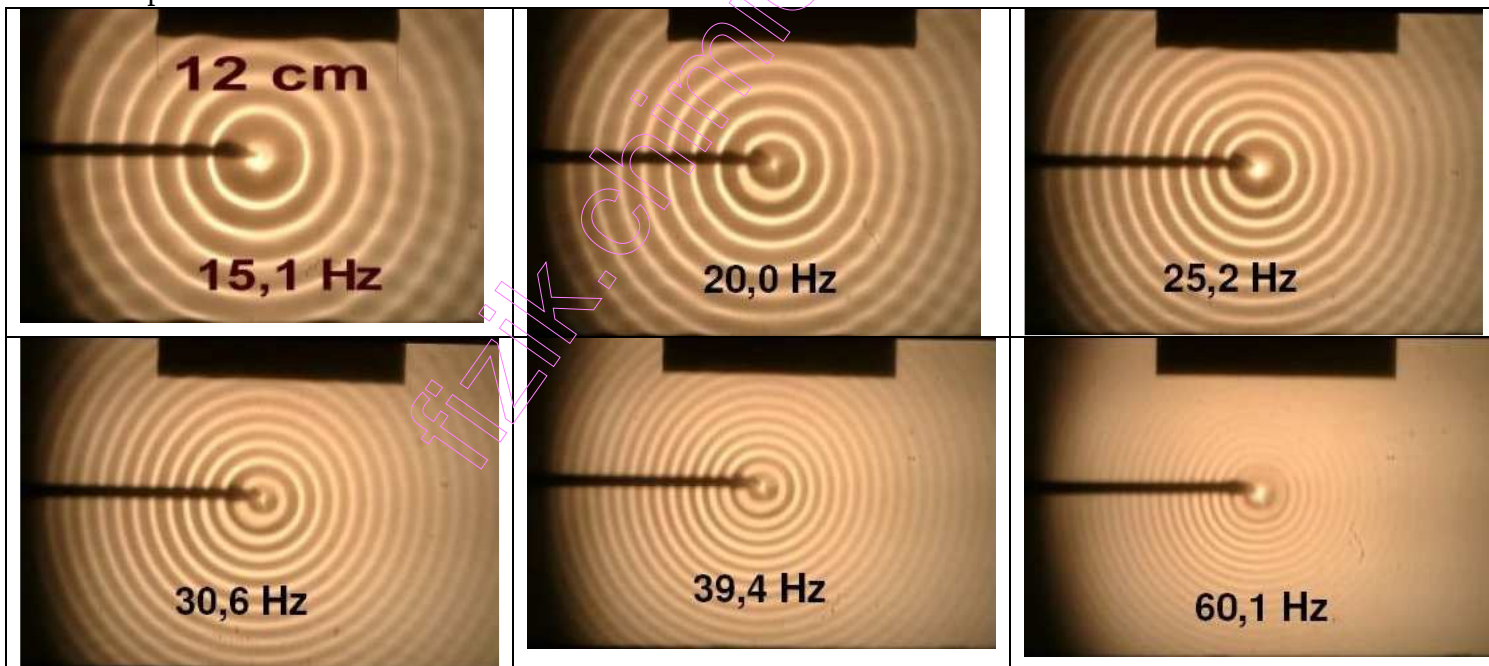


L'oreille humaine n'entend pas les ultrasons ni les infrasons, mais certains animaux sont sensibles aux ultrasons (*sifflet pour chiens, chevaux...*).

## 3. Phénomène de dispersion

### 3.1. Étude expérimentale

Soit les 6 photos de cuves à onde.



Les valeurs des longueurs d'onde sont regroupées dans le tableau suivant. On calcule la célérité de l'onde dans chacun des cas.

On trouve :

| F en Hz        | 15,1                 | 20,0                 | 25,2                 | 30,6                 | 39,4                 | 60,1                 |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\lambda$ en m | $1,46 \cdot 10^{-2}$ | $1,13 \cdot 10^{-2}$ | $9,33 \cdot 10^{-3}$ | $8,98 \cdot 10^{-3}$ | $7,77 \cdot 10^{-3}$ | $5,68 \cdot 10^{-3}$ |
| V en m/s       | 0,220                | 0,225                | 0,235                | 0,275                | 0,306                | 0,341                |

## Conclusion :

La célérité de l'onde n'est pas constante, elle varie avec la fréquence de la source. L'eau est un milieu dispersif.

### 3.2. Propriétés

#### Définition :

On appelle milieu dispersif, un milieu matériel dans lequel la célérité des ondes sinusoïdales dépend de leur fréquence.

Une onde résultant de la superposition de plusieurs ondes sinusoïdales (décomposition en série de Fourier) :  
se déforme au cours de la propagation dans un milieu dispersif ;  
ne se déforme pas dans un milieu non dispersif.

#### Exemples :

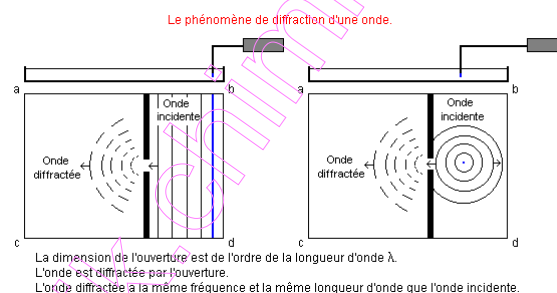
Le sillage d'un bateau crée une perturbation comprenant plusieurs ondes sinusoïdales et un observateur sur le rivage voit arriver successivement des vagues plus ou moins espacées (longueurs d'onde plus ou moins grandes), l'eau est un milieu dispersif.

Lors d'un concert, on perçoit les sons aigus et les sons graves simultanément, toutes les fréquences se propagent à la même vitesse, l'air est un milieu non dispersif pour les ondes sonores.

Remarque : tous les milieux sont en réalité dispersifs, mais on peut parfois considérer que dans une gamme donnée de fréquence la dispersion est négligeable.

## 4. Phénomène de diffraction

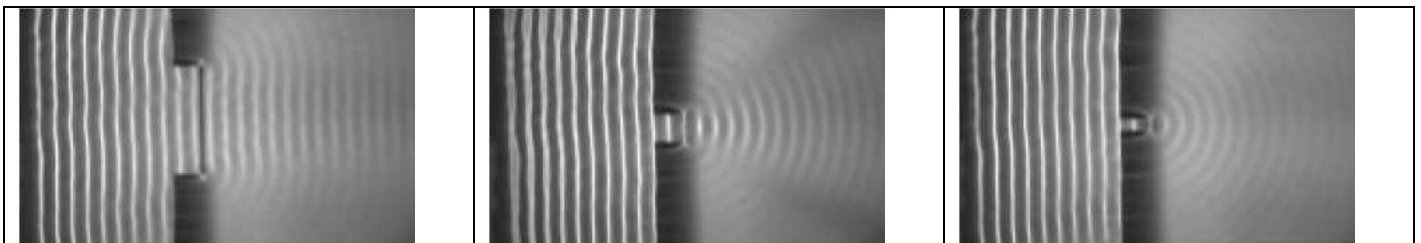
### 4.1. Étude expérimentale



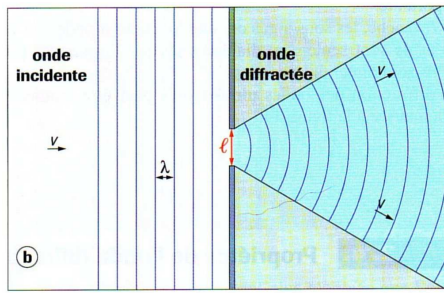
On constate que l'onde est modifiée :

Pour une petite ouverture, l'onde rectiligne change de forme et devient une onde circulaire, on dit que l'onde est diffractée.

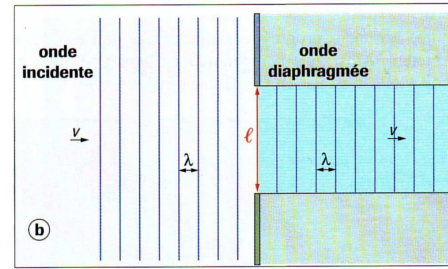
### 4.2. Influence de l'obstacle



- Si la largeur de la fente est grande, l'onde n'est pas diffractée, elle garde la même forme mais limitée dans l'espace, on dit que l'onde est diaphragmée. Il n'y a qu'une légère diffraction sur les bords de l'obstacle.
- la longueur d'onde est la même avant et après le passage dans la fente.
- pour une même fréquence, la diffraction dépend de la largeur de la fente.



**Fig. 12**  $\ell \approx \lambda$  (ou  $\ell < \lambda$ ). L'onde est diffractée par la fente.



**Fig. 11**  $\ell \gg \lambda$ . L'onde est diaphragmée par la fente.

Lorsque le trou dans l'obstacle est de grande dimension par rapport à la longueur d'onde, l'onde incidente est diaphragmée (limitée dans l'espace, mais non ou peu déformée).  $\ell \gg \lambda$   
 Lorsque l'obstacle est de dimensions comparables à la longueur d'onde, l'onde incidente est diffractée et le phénomène est d'autant plus marqué que la dimension du trou de l'obstacle est petite.  $\ell \approx \lambda$  ou  $\ell < \lambda$

La zone dans laquelle se propage l'onde diffractée est un secteur circulaire caractérisé par  $\theta$  l'angle au sommet.

*Exemple* : diffraction des ondes sonores (perception amplifiée par l'absorption des aigus), à 100 Hz la diffraction est perceptible avec des ouvertures d'environ 3 m, contre 10 cm pour des sons à 3 kHz.

Remarque :

Pour une largeur de fente donnée, la valeur de l'angle de diffraction dépend de la fréquence de la source.