

Les ondes mécaniques progressives périodiques

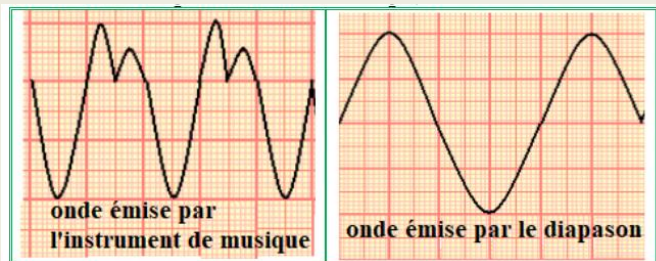


1. Les ondes mécaniques progressives périodiques :

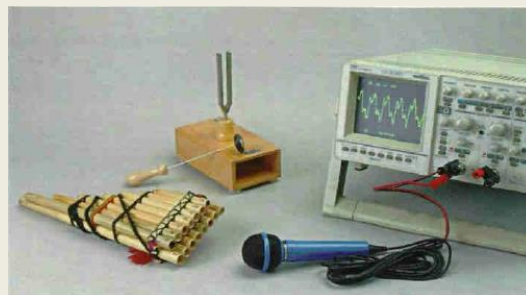
1.1. Activité 1

périodicité temporelle (La période)

- Le son est une onde mécanique, il se **propage** par compression-dilatation du milieu matériel dans lequel il est émis. Visualiser, à l'aide d'un microphone relié à un oscilloscope, le son émis



par un instrument de musique puis par un diapason.



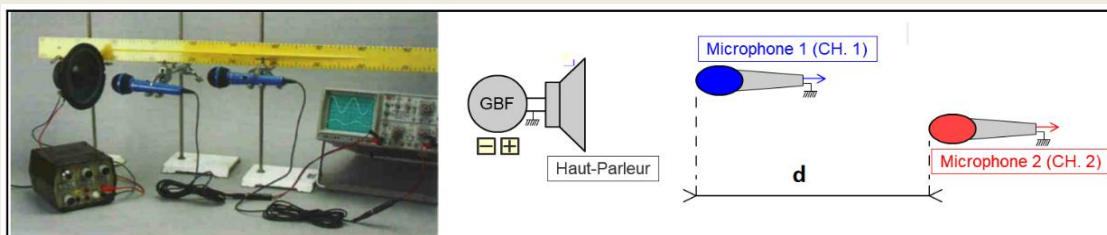
- Quel est le rôle du microphone ?
- Les ondes visualisées sont-elles périodiques ? justifier.
- Déterminer la **période** notée **T** (aussi appelée **périodicité temporelle**) de chaque onde sonore, sachant que la sensibilité horizontale $S_h = 0,5 \text{ ms/div}$.
- Calculer la fréquence N de l'onde sonore émise par le diapason.

Corrigé

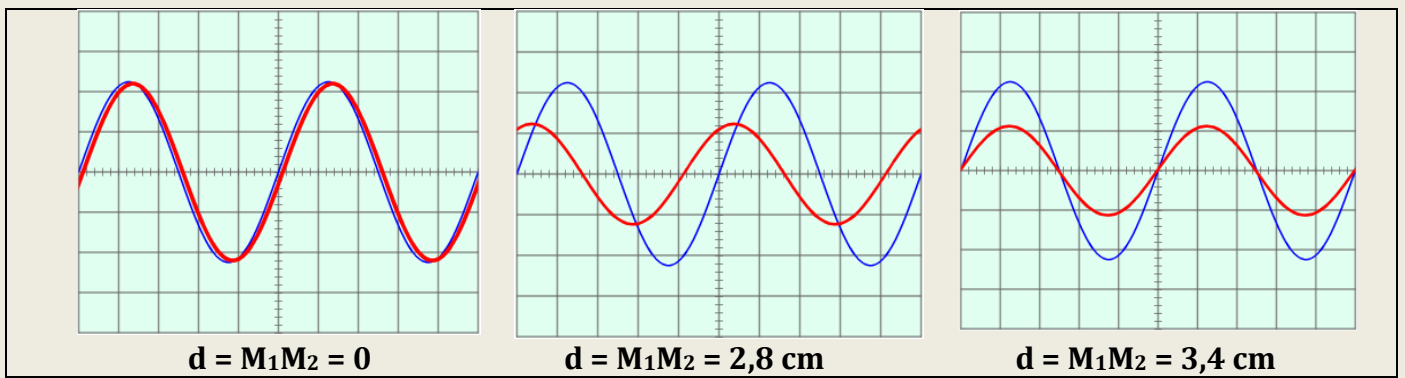
- Il permet de capter les ondes sonores et les convertir en signaux électriques
- Oui, Une onde périodique se caractérise par la répétition régulière d'un motif de vibration
- L'onde émise par l'instrument de musique : $T = 2 \times 0,5 \cdot 10^{-3} = 10^{-3} \text{ s}$
L'onde émise par le diapason : $T = 4 \times 0,5 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$
- $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} = 500 \text{ Hz}$

1.2. Activité 2

la mise en évidence de la périodicité spatiale



- Reprendre le montage de l'activité 1 en utilisant un deuxième microphone branché sur l'autre voie de l'oscilloscope.
- Utiliser, comme source sonore, un haut-parleur relié un générateur de basse fréquence GBF (fonctionnant à une fréquence de $f=10 \text{ kHz}$ environ)
- Placer les deux microphones (M_1 et M_2) côte à côte.
- Le microphone M_1 restant fixe, éloigner lentement M_2 du haut-parleur et de M_1 le long d'une règle graduée placée selon la direction {haut-parleur - M_1 }
- Les figures ci-dessous montrent ce que l'on observe sur l'écran de l'oscilloscope à différentes distances $M_1 M_2$:



1. Que se passe-t-il lorsque les deux microphones sont côte à côte ?
2. Déterminer la plus petite distance d_1 entre les deux microphones M_1 et M_2 permettant d'obtenir des courbes en phase. Cette distance est appelée longueur d'onde ou périodicité spatiale et souvent notée λ , elle s'exprime en mètre (m).
3. Continuons d'éloigner le microphone M_2 peu à peu de M_1 jusqu'à ce que les deux courbes soient à nouveau en phase, on obtient la distance $d_2=6.8\text{cm}$, calculer le rapport des deux distances d_2/d_1 , conclure.
4. Déterminer les distances d'_1 et d'_2 entre les deux microphones M_1 et M_2 permettant d'obtenir des courbes en opposition de phase.
5. Calculer les rapports d'_1/λ et d'_2/λ , que remarquez-vous ?
6. Déterminer T la périodicité temporelle de l'onde sonore.
7. Que représente le rapport $\frac{\lambda}{T}$ (analyse dimensionnelle), puis calculer sa valeur.

Réponses :

1. Microphones côte à côte

Lorsque les deux microphones sont côte à côte ($d = 0$), ils captent le même signal sonore au même instant. Les deux courbes sur l'oscilloscope sont donc **en phase** (elles se superposent parfaitement).

2. Plus petite distance d_1 pour retrouver la phase

D'après les observations:

- À $d = 0 \text{ cm}$: en phase
- À $d = 2,8 \text{ cm}$: décalage
- À $d = 3,4 \text{ cm}$: à nouveau en phase

La plus petite distance où les courbes se réalignent en phase est $d_1 = 3,4 \text{ cm}$. Cette distance correspond à **la longueur d'onde** λ du son émis. **Donc** : $\lambda = 3,4 \text{ cm} = 0,034 \text{ m}$.

3. Rapport d_2/d_1 et conclusion

Nouvelle coïncidence de phase à $d_2 = 6,8 \text{ cm}$. Le rapport vaut :

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{6,8}{3,4} = 2$$

Conclusion : d_2 correspond à **2 longueurs d'onde** (2λ). Ceci confirme que λ est bien la distance entre deux points consécutifs en phase.

4. Distances pour opposition de phase

L'opposition de phase se produit pour des distances multiples impairs de $\lambda/2$:

$$d'_1 = \frac{\lambda}{2} = \frac{3,4}{2} = 1,7 \text{ cm}$$

$$d'_2 = \frac{3\lambda}{2} = \frac{3 \times 3,4}{2} = 5,1 \text{ cm}$$

5. Rapports d'_1/λ et d'_2/λ

$$\frac{d'_1}{\lambda} = \frac{1,7}{3,4} = 0,5$$

$$\frac{d'_2}{\lambda} = \frac{5,1}{3,4} = 1,5$$

Remarque : Ces rapports sont des multiples impairs de 0,5, confirmant que l'opposition de phase se produit pour $\lambda/2$, $3\lambda/2$, etc.

6. Périodicité temporelle T

La fréquence est $f = 10 \text{ kHz} = 10\,000 \text{ Hz}$. La période T vaut :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10\,000} = 0,0001 \text{ s} = 100 \mu\text{s}$$

7. Signification de λ/T et calcul

Le rapport λ/T représente la vitesse de propagation v :

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{0,034}{0,0001} = 340 \text{ m/s}$$

Analyse dimensionnelle :

- λ en mètres (m)
- T en secondes (s)
- Donc λ/T en **m/s** (unité de vitesse)

1.3.Définition :

Onde mécanique progressive périodique est une onde dans laquelle l'évolution temporelle de la perturbation de chaque point du milieu de propagation est périodique.

1.4.Périodicité temporelle :

La période T d'une onde mécanique progressive périodique est la petite durée au bout de laquelle la perturbation se reproduit identique à elle-même.

1.5.Périodicité spatiale :

La périodicité spatiale d'une onde mécanique progressive périodique est la petite distance séparant deux points successifs ayant le même état de vibration.

1.6.Longueur d'onde :

La longueur de l'onde λ s'appelle la distance parcourue par l'onde progressive sur une durée égale à sa période T ,

$$\text{tel que } \lambda = V \cdot T = \frac{V}{\nu}$$

Avec λ la longueur d'onde en (m)

V la vitesse de propagation en ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

ν sa fréquence en (Hz).

Soit M et N deux points de l'onde

- ❖ Si $MN = K \cdot \lambda$ avec $K \in \mathbb{Z}$, les deux points **M** et **N vibrent en phase**.
- ❖ Si $MN = (2K + 1) \frac{\lambda}{2}$ avec $K \in \mathbb{Z}$, les deux points **M** et **N vibrent en opposition de phase**.

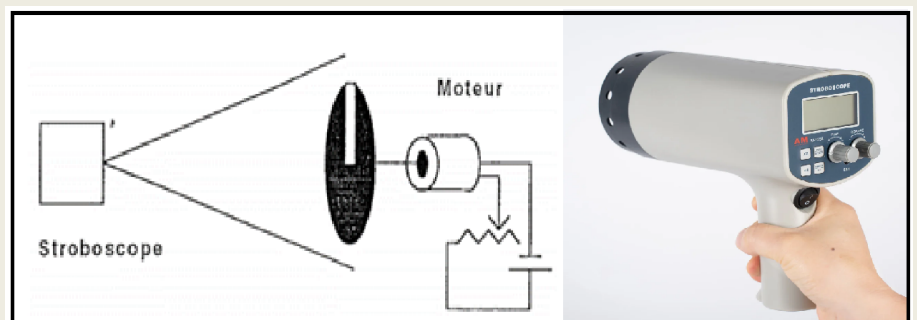
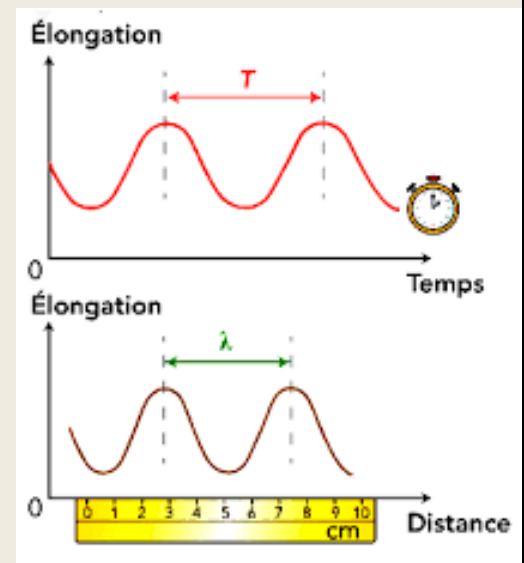
Remarque :

(La longueur de l'onde λ représente la petite distance séparant deux points du milieu de propagation qui vibrent en phase.)

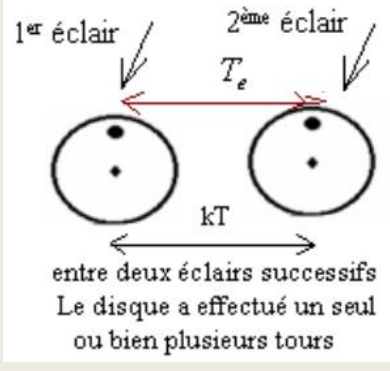
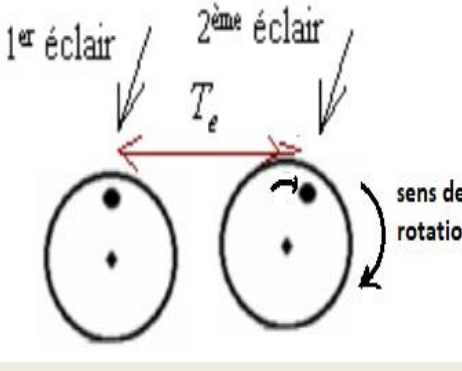
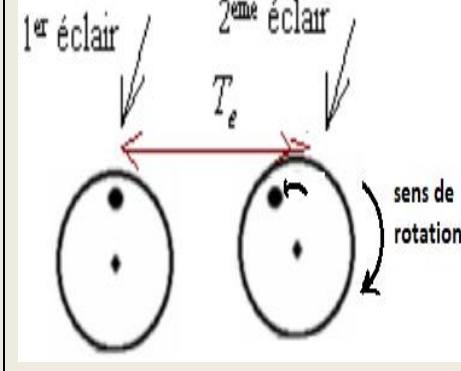
1.7.Notion de stroboscope

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.

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 :

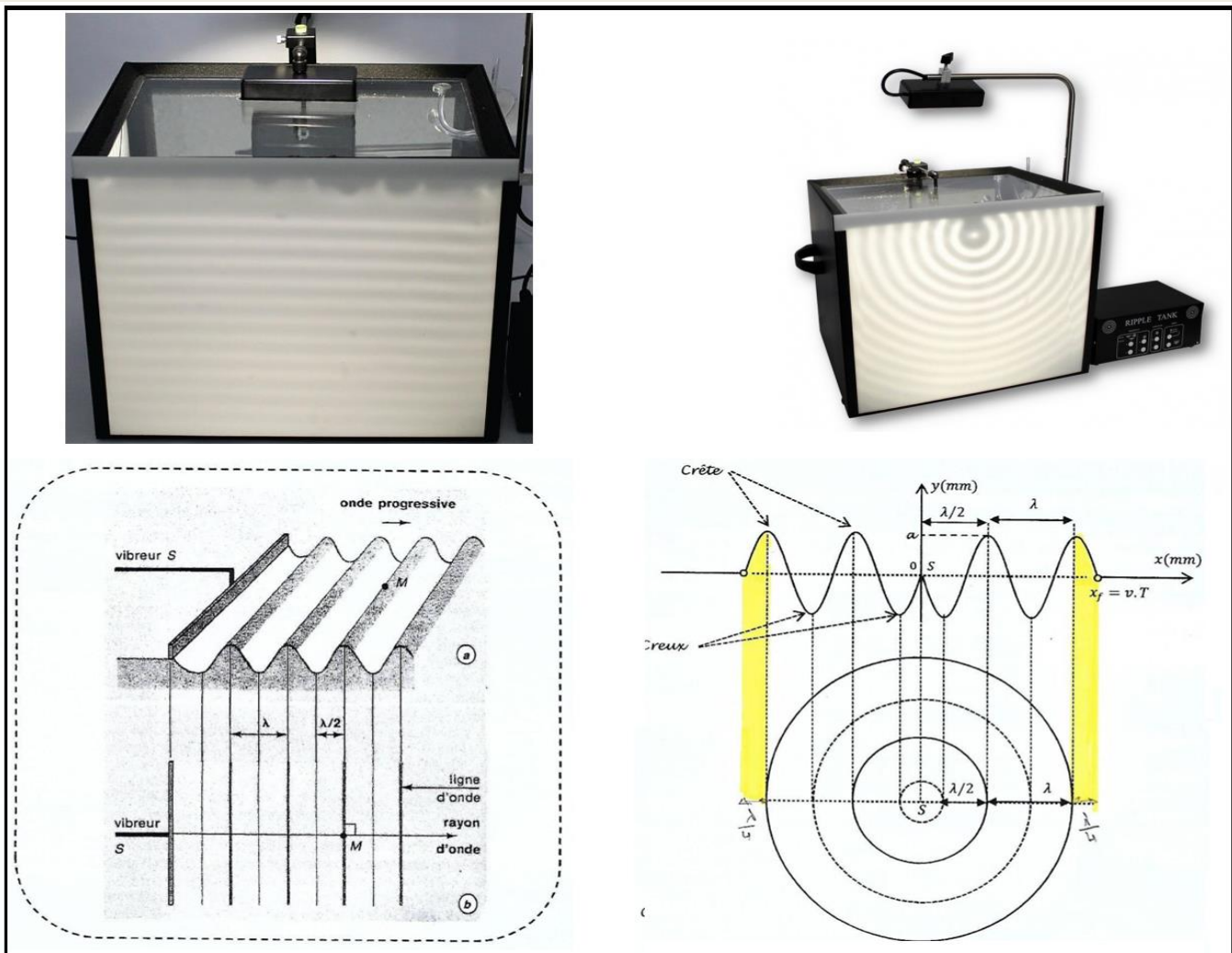
 <p>entre deux éclairs successifs Le disque a effectué un seul ou bien plusieurs tours</p>	 <p>sens de rotation</p>	 <p>sens de rotation</p>
<p>L'immobilité apparente : la tâche est immobile car elle est éclairée au même endroit.</p>	<p>Le mouvement apparent ralenti dans le même sens du mouvement de rotation du disque</p>	<p>Le mouvement apparent ralenti dans le sens contraire du mouvement de rotation du disque</p>
<p>T_e : période de stroboscope T : période de moteur $T_e = kT$ et $f_e = kf$</p>	<p>f_e Légèrement inférieure à f ($T_e > T$)</p>	<p>f Légèrement inférieure à f_e ($T_e < T$)</p>

Remarque :

La plus grande fréquence des éclairs qui permet d'avoir de L'immobilité apparente $f_e = kf$ correspond à $k=1$. Donc $f_e = f$

1. Phénomène de diffraction :

1.1. Cuve a onde :

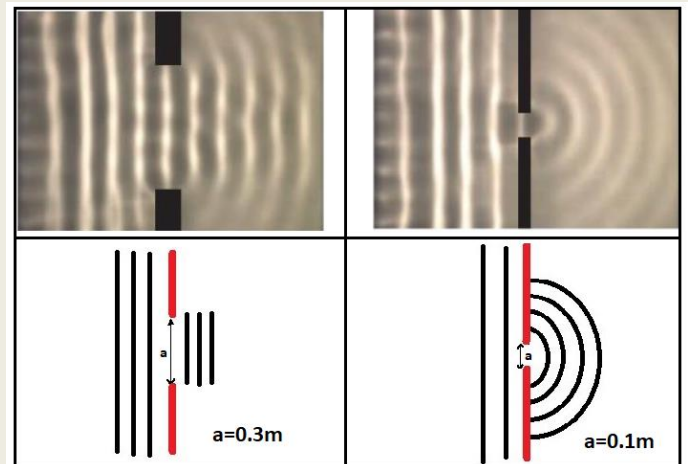
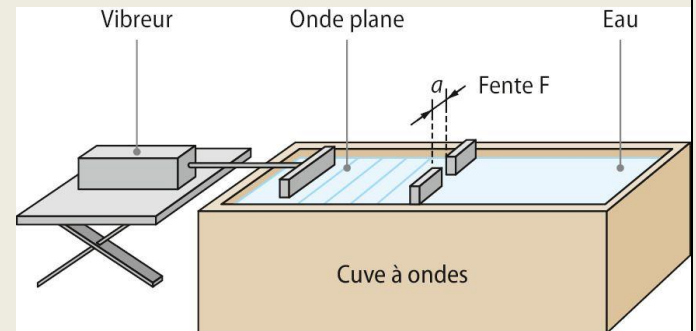


Pour observer des ondes à la surface de l'eau, nous disposons en classe d'une cuve à ondes (figure 1) ; cet appareil est constitué d'une cuve rectangulaire à fond transparent. Elle est remplie d'eau sur quelques millimètres de hauteur. Ses parois internes sont couvertes de mousse absorbante pour éviter toute réflexion de l'onde sur la surface de l'eau. La cuve est éclairée par une source lumineuse située au-dessus

1.1. Activité :

On fait créer des ondes rectilignes dans la cuve à ondes qui se propagent avec une vitesse $V = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, puis on éclaire la surface de l'eau avec un stroboscope de tel sorte que sa fréquence soit égale à celle des ondes ($\nu = 10 \text{ Hz}$), et on voit que tous les points de la surface de l'eau apparaissent immobiles. On place deux plaques parallèles dans la cuve de manière à former une fente de largeur a modifiable. On varie a et on obtient les deux figures suivantes :

- Comparer la longueur d'onde incidente et la largeur a de la fente dans chaque figure
- Décrire, pour chaque figure, ce qui arrive aux ondes lorsqu'elles traversent la fente.
- L'onde circulaire est appelée l'onde diffractée et le phénomène s'appelle phénomène de **diffraction**. Quelles sont les conditions pour que les ondes soient diffractées ?
- Comparer la longueur d'onde diffractée avec la longueur de l'onde incidente



Réponse :

a. Comparaison de λ et a dans chaque figure :

- Longueur d'onde : $\lambda = \frac{V}{\nu} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ m}$
- Figure 1** ($a > \lambda$) : La largeur de la fente est supérieure à la longueur d'onde incidente.
- Figure 2** ($a \leq \lambda$) : La largeur de la fente est inférieure à la longueur d'onde incidente.

b. Comportement des ondes traversant la fente

- Figure 1** ($a > \lambda$) : Les ondes traversent la fente en conservant leur caractère rectiligne. On observe peu de modification de la forme des ondes après la fente.
- Figure 2** ($a < \lambda$) : Les ondes changent complètement de comportement après la fente. Elles deviennent circulaires et se propagent dans toutes les directions à partir de la fente.

c. Conditions pour la diffraction

Pour observer le phénomène de diffraction :

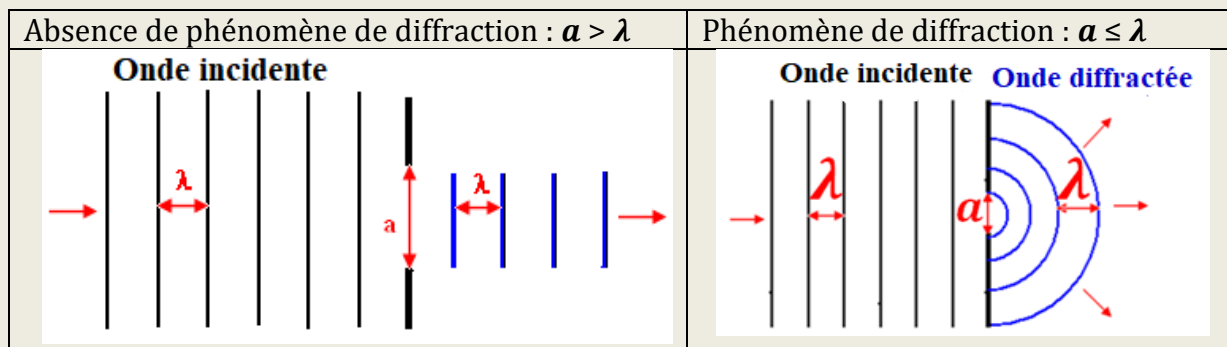
- La largeur de la fente a doit être du même ordre de grandeur ou inférieure à la longueur d'onde λ ($a \leq \lambda$)
- Plus précisément, la diffraction devient notable lorsque $a \approx \lambda$ ou $a < \lambda$

d. Comparaison $\lambda_{\text{diffractée}}$ et $\lambda_{\text{incidente}}$

- La longueur d'onde des ondes diffractées **reste identique** à celle des ondes incidentes
- $\lambda_{\text{diffractée}} = \lambda_{\text{incidente}}$
- Seule la forme du front d'onde change (rectiligne \rightarrow circulaire), pas les caractéristiques physiques de l'onde

1.2.Définition :

Lorsqu'une onde progressive sinusoïdale rencontre un obstacle avec ouverture de largeur a , une modification de la structure de l'onde se produit (c-à-d un changement de direction de sa propagation), si $a \leq \lambda$ où λ est la longueur d'onde incidente sur l'obstacle, ce phénomène s'appelle phénomène de diffraction.



1.2. Propriétés de l'onde diffractée :

- ✓ Le phénomène de diffraction est la modification de la forme et de la direction d'une onde au voisinage d'une ouverture ou d'un obstacle de dimensions égales ou inférieures à sa longueur d'onde : $a \leq \lambda$
- ✓ Le phénomène de diffraction est une caractéristique des ondes.
- ✓ L'onde incidente et l'onde diffractée ont la même longueur d'onde λ , la même fréquence N et la même vitesse v si le milieu de propagation n'est pas changé.
- ✓ En général, lorsqu'une onde passe d'un milieu à un autre seule sa fréquence ne varie pas.
- ✓ Plus que « a » diminue, plus que la diffraction de l'onde est importante, donc le phénomène de la diffraction est inversement proportionnel à la largeur « a » de la fente.

2. Le milieu dispersif :

2.1. Activité :

On fait créer une onde circulaire dans la cuve à ondes, on ajuste la fréquence ν de l'onde circulaire à différentes valeurs, et à chaque fois on éclaire la surface de l'eau avec un stroboscope réglé à la même fréquence de l'onde, on observe que tous les points de la surface de l'eau apparaissent immobiles, puis on mesure la longueur d'onde correspondante.

- Donner la relation entre la vitesse V de propagation de l'onde et la fréquence ν et sa longueur d'onde λ
- Les résultats décrivent sous forme du tableau suivant :

ν (Hz)	25	35	45
λ (mm)	9.2	7	5.9
V (m/s)			

- On dit qu'un milieu est dispersif si la vitesse de propagation d'une onde dans ce milieu dépend de sa fréquence. L'eau est-elle un milieu dispersif ?

Réponse :

a. Relation entre vitesse, fréquence et longueur d'onde

La relation fondamentale pour les ondes périodiques s'écrit :

$$V = \lambda \times \nu$$

où :

- V est la vitesse de propagation de l'onde (en m/s)
- λ est la longueur d'onde (en m)
- ν est la fréquence de l'onde (en Hz)

b. Tableau des résultats expérimentaux

ν (Hz)	λ (mm)	λ (m)	V (m/s)
25	9.2	0.0092	0.23
35	7.0	0.0070	0.245
45	5.9	0.0059	0.265

c. Détermination du caractère dispersif de l'eau

Pour vérifier si l'eau est un milieu dispersif, analysons l'évolution de la vitesse V en fonction de la fréquence ν :

- Pour $\nu = 25$ Hz : $V = 0.23$ m/s
- Pour $\nu = 35$ Hz : $V = 0.245$ m/s (augmentation de 6.5%)
- Pour $\nu = 45$ Hz : $V = 0.265$ m/s (augmentation supplémentaire de 8.2%)

Conclusion : Puisque la vitesse de propagation change significativement avec la fréquence (augmentation continue de V quand ν croît), on peut affirmer que **l'eau se comporte comme un milieu dispersif** pour ces ondes de surface.

2.2. Définition :

On dit que le milieu est dispersif, si la vitesse de propagation de l'onde dans ce milieu dépend de sa fréquence.

Exemple :

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