

4

Caractériser les ondes

1. Rappels sur les ondes

a) Onde progressive

- C'est le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel sans transport de matière et avec transfert d'énergie.
- Le retard τ est la durée séparant le passage de l'onde entre deux points alignés avec la source : $\tau = t_2 - t_1$ avec $t_2 > t_1$.
- La célérité v est la valeur de la vitesse de propagation de l'onde ; elle dépend du milieu de propagation :

Célérité (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) $\longrightarrow v = \frac{d}{\tau}$

Distance parcourue (en m) $\longleftarrow d$

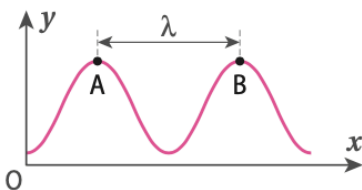
Retard (en s) $\longleftarrow \tau$

τ « tau »
est une lettre
minuscule grecque.

b) Onde progressive périodique (cas d'une onde progressive sinusoïdale)

- C'est une onde dont la perturbation en chaque point du milieu est périodique.

- **Longueur d'onde λ**
= plus petite distance
séparant deux points
du milieu en phase (dans
le même état vibratoire)



en m en s

$$\lambda = v \times T$$

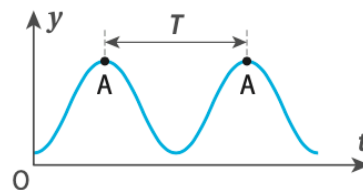
en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

ou

$$\lambda = \frac{v}{f} \text{ avec } f = \frac{1}{T}$$

en Hz

- **Période T**
= plus petite durée
séparant deux perturbations
identiques d'un même point
du milieu



Sources : Le carnet de labo fiche 70

2. Ondes sonores

Une **onde sonore** ou **acoustique** est une perturbation mécanique périodique due à des successions de compressions et de dilations de couches de fluides (liquides ou solides). L'oreille humaine peut entendre des sons entre 20 Hz à 20000 Hz.

Les ondes sonores dont la fréquence est inférieure à 20 Hz sont appelées des **infrasons** et celles dont la fréquence est supérieure à 20 kHz sont appelées **ultrasons**.

a) Intensité sonore (caractéristique de l'onde sonore)

Une onde sonore transporte de l'énergie. L'intensité sonore, notée I , d'une onde sonore correspond à l'énergie transportée par cette onde par unité de surface et par unité de temps.



Elle s'exprime en watts par mètre carré. Il s'agit donc d'une puissance par mètre carré :

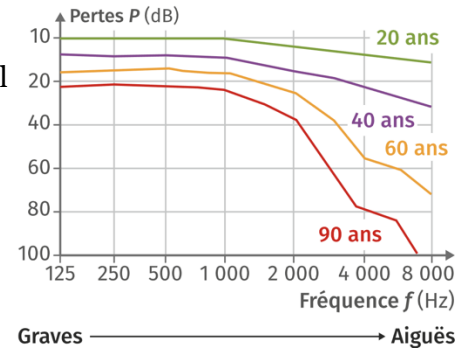
$$I = \frac{P}{S} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} P \text{ la puissance sonore (ou énergie transférée) par unité de temps (en W)} \\ S \text{ la surface qui reçoit l'onde sonore (en m}^2\text{)} \\ I \text{ l'intensité sonore (en W} \cdot \text{m}^{-2}\text{)} \end{cases}$$

Pour une fréquence $f = 1000 \text{ Hz}$, le seuil d'audibilité correspond à $I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ et le seuil de la douleur à $I = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Cette grande plage d'audition (10 000 milliards !) est nécessaire pour nous adapter à notre environnement.

b) Niveau sonore

Le **seuil d'audibilité** est l'intensité minimale perceptible par l'ouïe. Il varie selon la fréquence du son et l'âge de l'auditeur



Une intensité deux fois plus importante ne donne pas une sensation d'un son deux fois plus fort. Ainsi, la perception du volume sonore n'est pas proportionnelle à l'intensité.

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \text{avec} \quad \begin{cases} L \text{ le niveau d'intensité sonore (en dB)} \\ I \text{ l'intensité sonore (en W} \cdot \text{m}^{-2}\text{)} \\ I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ l'intensité sonore de référence} \end{cases}$$

Cette intensité de référence correspond au son le plus faible qu'une oreille normale peut entendre.

Application

Un son produit par une source sonore est perçu par un récepteur avec une intensité sonore I . Par combien le niveau d'intensité sonore augmente-t-il si l'on double l'intensité sonore ?

MaThs

- $\log(1) = 0$
- Pour a et b réels strictement positifs :

$\log(a \times b) = \log(a) + \log(b)$
 $\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log(a) - \log(b)$

c) Atténuation

Lorsqu'une onde sonore se propage dans un milieu absorbant, une partie de l'énergie est transférée au milieu. Ainsi, l'intensité sonore décroît entre l'entrée de l'onde dans le milieu et sa sortie.

$$A = L_1 - L_2 = 10 \times \log\left(\frac{I_1}{I_2}\right) \quad \text{avec} \quad \begin{cases} A, L_1 \text{ et } L_2 \text{ en dB,} \\ I_1 \text{ et } I_2 \text{ en W} \cdot \text{m}^{-2} \end{cases}$$

Il est possible de retrouver cette relation ...

Exemple : atténuation d'une porte :

Une source sonore émet un son dont le niveau sonore est de **73** dB devant une porte. Un auditeur place son oreille derrière elle et ne perçoit plus que **48** dB. L'atténuation **A** est donc égale à **25** dB à travers la porte.

Exercices : 28, 29 et 31 page 478 ; 42 page 479 ; 58 page 482, 65 page 484 et 41 page 479

3. Diffraction

a) Le phénomène

Le phénomène de diffraction est une propriété des ondes qui se caractérise par un étalement des directions de propagation de l'onde, lorsque celle-ci traverse une ouverture.

Dans le phénomène de diffraction, une onde progressive sinusoïdale conserve sa fréquence f caractéristique de la source, sa célérité v et donc sa longueur d'onde λ :

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

(doc 4, 5 et 6 du livre page 467)

b) Conditions d'observation

L'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la longueur d'onde λ d'une onde progressive sinusoïdale à la taille de l'ouverture.

Pour toutes les ondes progressives sinusoïdales, la diffraction est nettement observée lorsque la **taille de l'ouverture (ou de l'obstacle) est du même ordre de grandeur ou inférieure à la longueur d'onde**.

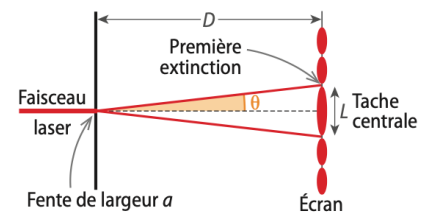
Dans le cas des ondes lumineuses monochromatiques, le critère est moins restrictif : le phénomène est encore bien apparent avec des ouvertures de tailles jusqu'à 100 fois plus grandes que la longueur d'onde en ordre de grandeur.

c) Angle caractéristique de diffraction

Le phénomène de diffraction est caractérisé par un **angle de diffraction**, angle entre la direction de propagation de l'onde en l'absence de diffraction et la direction définie par le milieu de la première extinction (tache sombre).

Cet angle, souvent noté θ , dépend de la longueur d'onde et de la taille de l'objet diffractant :

$$\theta = \frac{\lambda}{a} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \theta \text{ l'écart angulaire (en radians)} \\ \lambda \text{ la longueur d'onde (en mètre)} \\ a \text{ la taille de l'ouverture (en mètre)} \end{cases}$$



Remarque : Lorsque $D \gg L$, alors l'écart angulaire de diffraction θ est petit. On peut ainsi faire l'approximation des petits angles et écrire :

$$\theta \approx \tan \theta = \frac{L}{2D} \quad \text{car } \tan(\theta) = \frac{\text{opposé}}{\text{adjacent}} = \frac{\frac{L}{2}}{D} = \frac{L}{2D}$$

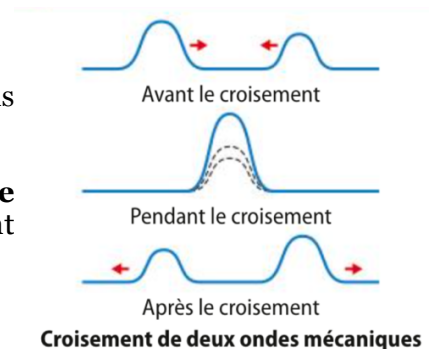
Exercices 32 et 34 page 478, 45 et 46 page 479, puis 49 page 480

3. Interférences

a) Conditions d'observation

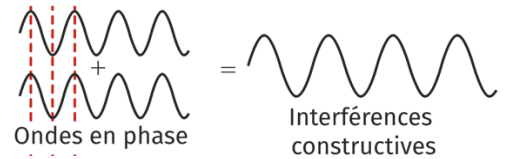
Lorsque deux ondes de même nature se croisent, leurs elongations s'additionnent ; elles **interfèrent**.

On obtient des interférences stables si les deux sources ont la **même fréquence** et un **déphasage constant** ; on dit qu'elles sont **cohérentes**.

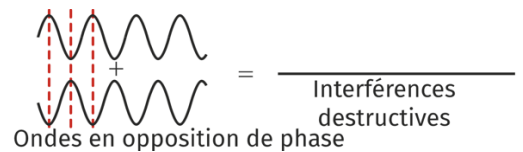


b) Interférences constructives et destructives

Il y a **interférence constructive** en un point lorsque les deux ondes provenant de deux sources cohérentes arrivent **en phase** en ce point : l'**amplitude** de la vibration résultante en ce point est **maximale**.



Il y a **interférence destructive** en un point lorsque les deux ondes provenant de deux sources cohérentes arrivent **en opposition de phase** (décalées d'un multiple impair de la demi-longueur d'onde $\frac{\lambda}{2}$) en ce point : l'amplitude de la vibration résultante est **minimale** ou nulle.



c) Interférences en lumière monochromatique

Pour observer une figure stable avec de la lumière, il faut éclairer deux trous (ou deux fentes) avec une unique source lumineuse monochromatique. Ces trous, dits sources secondaires, émettent alors des ondes de même fréquence et de déphasage constant ; ils jouent le rôle de sources secondaires ponctuelles.

Différence de chemin optique

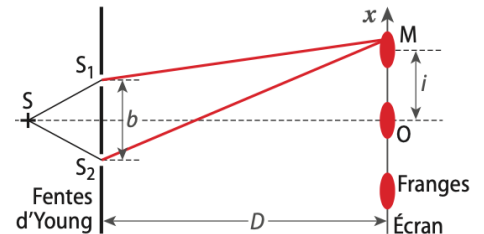
Deux ondes lumineuses de longueur d'onde λ émises par les sources secondaires S_1 et S_2 se superposent en un point M de l'écran après avoir parcouru les distances S_1M et S_2M .

On définit la **différence de chemin optique** par :

$$\delta = S_2M - S_1M$$

Si la **différence de chemin optique** δ est telle que :

- $\delta = k \times \lambda$, avec $k \in \mathbb{Z}$, les ondes arrivent en phase en M . Les interférences sont **constructives**. On observe alors des **franges brillantes** ;
- $\delta = (2k + 1) \times \frac{\lambda}{2}$, avec $k \in \mathbb{Z}$, les ondes arrivent en opposition de phase en M . Les interférences sont **destructives**. On observe alors des **franges sombres** ;



Interfrange

L'interfrange est la distance séparant deux franges consécutives de même nature.

$$i = \frac{\lambda \times D}{b}$$

Une [vidéo](#) proposée par l'éditeur Hachette

Exercices : 47 page 479 ; 61 page 482 ; 66 page 485 et 68 page 486

4. Effet Doppler



Qu'est-ce que c'est l'effet Doppler ?

Explication en BD



L'effet Doppler est la variation de fréquence d'une onde mesurée entre l'émission et la réception, lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

Si une onde de fréquence f_e (en Hz) et de célérité v (en m.s⁻¹) émise par un émetteur en mouvement à la vitesse constante u (en m.s⁻¹) du récepteur.

La fréquence de l'onde reçue par le récepteur fixe f_r (en Hz) est telle que ;

$$f_r = f_e \times \frac{v}{v - u} \quad \text{si l'émetteur s'approche du récepteur (} f_r > f_e \text{) ;}$$

$$f_r = f_e \times \frac{v}{v + u} \quad \text{si l'émetteur s'éloigne du récepteur (} f_r < f_e \text{).}$$

Remarque : Les formules relatives à l'effet Doppler peuvent prendre plusieurs formes, selon les conventions utilisées et sont, généralement, données.

La variation de fréquence entre l'onde émise et l'onde reçue dépend de la vitesse de l'émetteur par rapport au récepteur. L'effet Doppler permet donc, entre autres, de mesurer une vitesse.

Application à l'astrophysique

La mesure du décalage des raies d'absorption d'un élément chimique sur le spectre d'une étoile permet de déterminer si celle-ci s'éloigne ou se rapproche de la Terre, ainsi que sa vitesse de déplacement.

Exercices 53 et 54 page 481 ; 67 page 485