

ACQUIS INDISPENSABLES

1- La **célérité c** (en $m.s^{-1}$) d'une onde rend compte de la distance parcourue par l'onde par unité de temps. Elle est égale au rapport de la **distance d** (en m) parcourue par une perturbation par le **retard (ou durée) Δt** (en s) nécessaire pour parcourir la distance d :

$$c = \frac{d}{\Delta t}$$

2- La **période T** (en s) d'un phénomène périodique représente la plus petite durée au bout de laquelle le phénomène se reproduit identique à lui-même.

3- La **fréquence f** (en $Hz \equiv s^{-1}$) exprime le nombre de fois que se répète le phénomène périodique par seconde. Elle est égale à l'inverse de la **période T** (en s) :

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

4- Il y a une relation forte entre toutes ces grandeurs. Ainsi, la **célérité c** (en $m.s^{-1}$) est égale au rapport de la **longueur d'onde λ** (en m) par la **période T** (en s) ; ce qui implique que la **fréquence f** (en Hz) est égale au rapport de la **célérité c** (en $m.s^{-1}$) par la **longueur d'onde λ** (en m) :

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad \text{et} \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

COURS

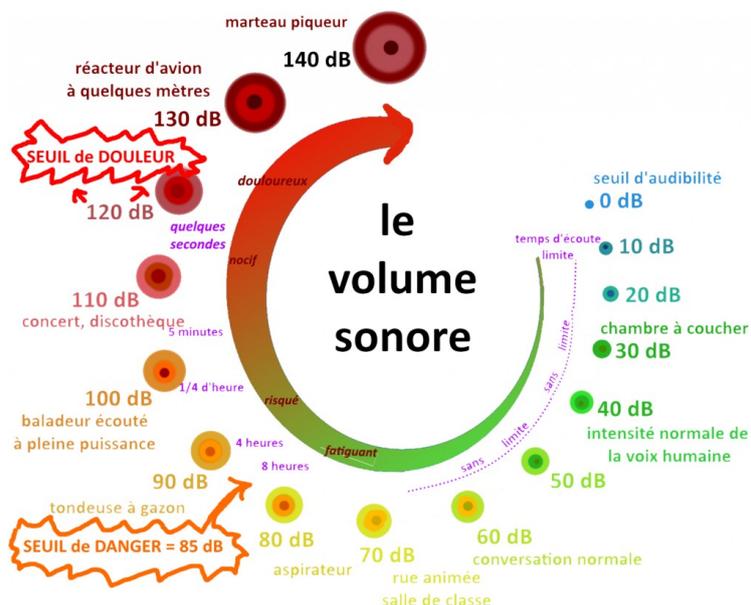
5- L'**intensité sonore I** (en $W.m^{-2}$) exprime la puissance par unité de surface transportée par l'onde sonore. Elle est égale au rapport de la **puissance sonore P** délivrée par la source (en W) par la **surface S** (en m^2) considérée :

$$I = \frac{P}{S}$$

6- Le **niveau sonore L** (en dB) est relié au rapport de l'intensité sonore I (en $W.m^{-2}$) par l'**intensité sonore du seuil audible $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} W.m^{-2}$** :

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \Leftrightarrow I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$$

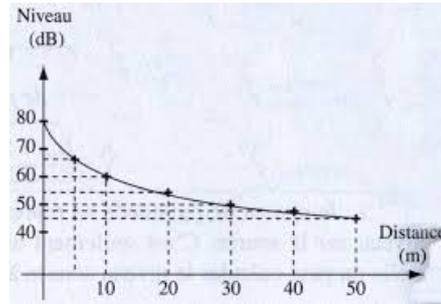
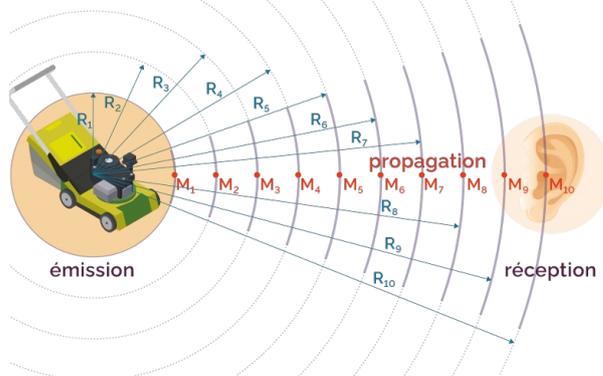
Exemple : échelle des intensités sonores.



 COURS

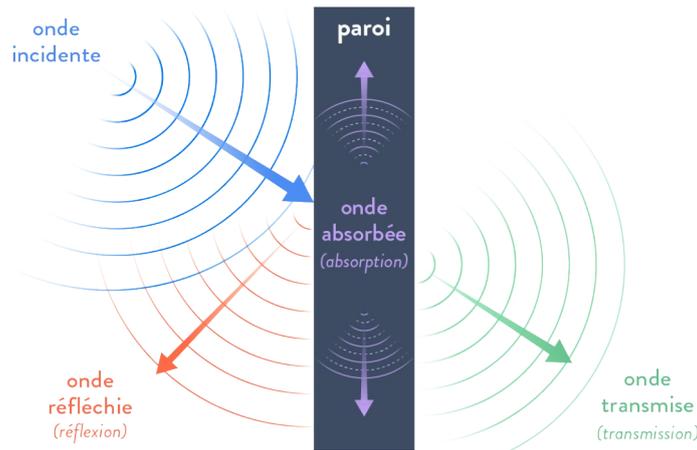
7- L'**atténuation** évolue avec la distance de manière géométrique. Ainsi, dans un milieu homogène illimité, si une source rayonne dans toutes les directions, l'énergie émise sera conservée mais sera répartie sur des sphères de plus en plus grandes.

Exemple : atténuation géométrique pour une onde sonore.



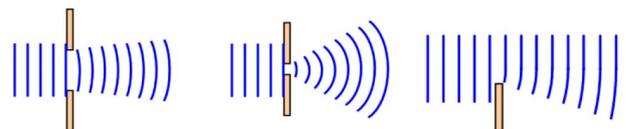
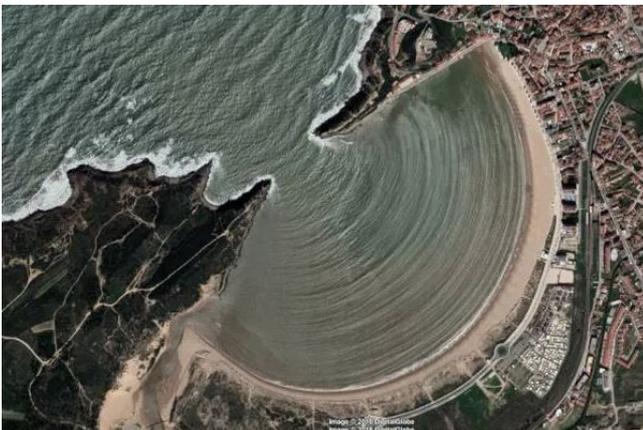
8- L'**atténuation** par absorption dépend du milieu de propagation (ou milieu absorbant) et de la fréquence de l'onde émise.

Exemple : propagation d'une onde rencontrant une paroi absorbante.



9- Lorsqu'une onde rencontre un resserrement dans un obstacle, il apparaît un phénomène de **diffraction**. Ce phénomène dépend de la **dimension de l'ouverture a** et de la **longueur d'onde λ** de l'onde incidente. Il est d'autant plus marqué que a est voisin de λ .

Exemple : diffraction des vagues dans une baie fermée ; schéma de principe de la diffraction, plus le resserrement est étroit, plus la diffraction est large.

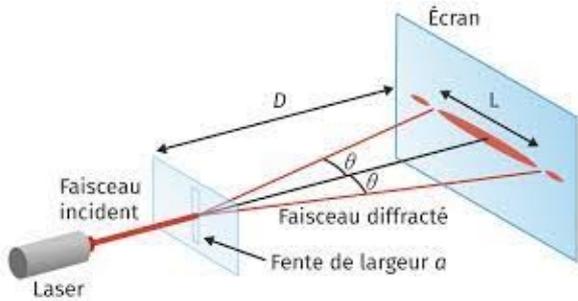


COURS

10- L'angle caractéristique de diffraction θ (en rad) est égal au rapport de la longueur d'onde λ (en m) de l'onde émise par la taille de l'ouverture a (en m) de la fente traversée.

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

Exemple : schéma de la diffraction d'une onde monochromatique émise par un LASER ; figures de diffraction pour différentes formes de fentes traversées par un faisceau LASER monochromatique.



Pour trouver le diamètre d'une ouverture, il suffit de mesurer la tâche centrale L avec une règle, la distance fente-écran D et lire sur le LASER la longueur d'onde λ . En utilisant l'approximation des petits angles qui dit que $\tan \theta = \theta$, on a $\tan \theta = \theta = \frac{L}{2D} = \frac{\lambda}{a}$. Ce qui implique que $a = \frac{2\lambda \cdot D}{L}$.

11- Quand au moins deux ondes se superposent, il peut se produire un phénomène d'**interférence**. Pour que ce phénomène soit observé, il faut que les ondes respectent les conditions d'interférences :

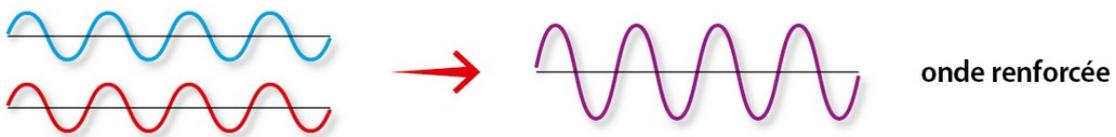
- avoir la même longueur d'onde λ ou la même fréquence ;
- être synchrone (ou cohérentes), c'est-à-dire avoir un déphasage de l'une par rapport à l'autre constant.

12- Si, pour deux ondes, leurs creux et leurs crêtes coïncident, c'est qu'elles sont exactement décalées d'un multiple de la longueur d'onde λ . On parle alors d'**ondes en phases**. Lors de la superposition de ces ondes, les amplitudes des deux ondes s'ajoutent et l'onde résultante est renforcée. On parle d'**interférences constructives**.

- Si les creux d'une des ondes coïncident avec les crêtes de la seconde, c'est que les deux ondes sont précisément décalées d'un multiple de la demi-longueur d'onde $\lambda/2$. On parle d'**ondes en opposition de phase**. Lors de la superposition de ces ondes, les amplitudes des deux ondes s'annulent. On parle d'**interférences destructives**.

Exemple : principe de superposition des ondes en interférence.

Interférences constructives : les ondes sont décalées de $\delta = k \cdot \lambda$ (k entier)



Interférences destructives : les ondes sont décalées de $\delta = (k + \frac{1}{2}) \cdot \lambda$ (k entier)



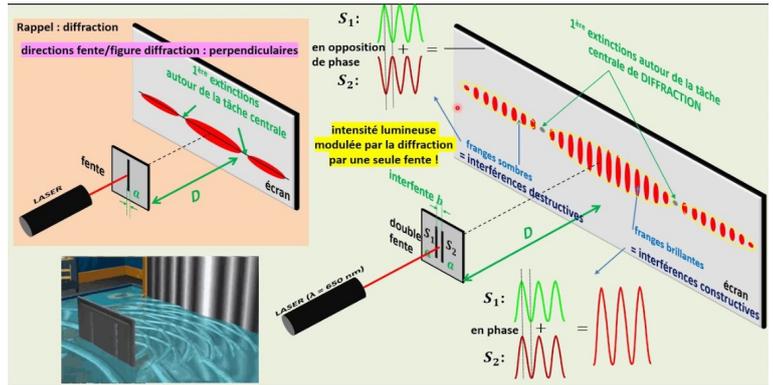
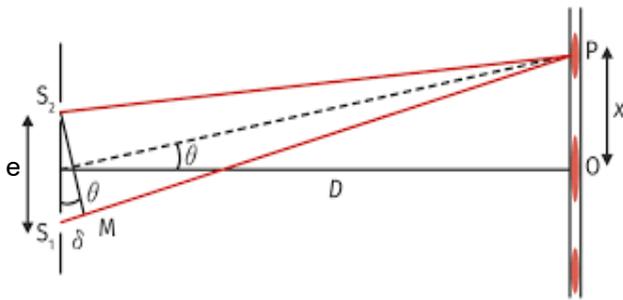
Le phénomène d'interférences est utilisé dans les casques à réduction de bruit. Un micro interne détecte les ondes sonores ambiantes et crée un signal en opposition de phase de nature à annihiler le bruit ambiant.

COURS

14- La plus petite valeur de x séparant deux points où des interférences constructives sont observées s'appelle l'**interfrange i** (en m). Sa valeur est reliée à la **longueur d'onde λ** (en m) de l'onde émise, la **distance D** (en m) entre les fentes et l'écran et la **distance e** (en m) entre les deux sources.

$$i = \frac{\lambda D}{e}$$

Exemple : schéma de l'interférence entre deux ondes ; schéma de l'interférence produite par un LASER passant à travers deux fentes.



Pour $D \gg e$ on peut faire l'approximation des petits angles $\tan \theta = \theta$, ainsi $\tan \theta = \theta = \frac{x}{D} = \frac{\delta}{e}$.

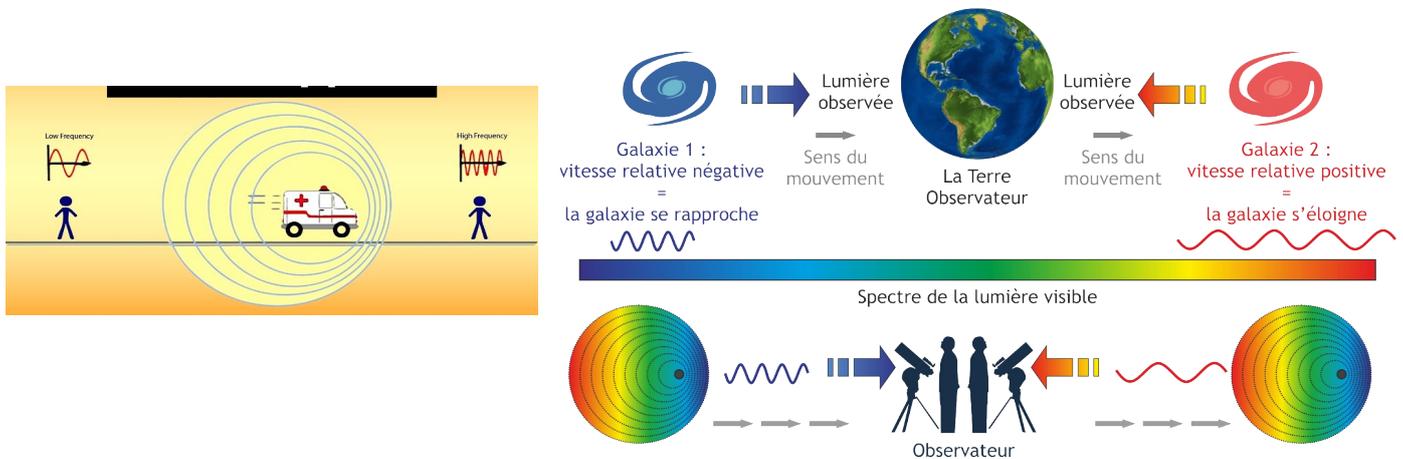
13- La **différence de chemin optique** (ou **de marche**) δ (en m) est reliée à la **distance e** (en m) entre les deux sources, l'**abscisse de l'écran x** (en m) où se superposent les deux ondes et la **distance D** (en m) entre les fentes et l'écran.

$$\delta = \frac{ex}{D}$$

L'interfrange correspond alors à une différence de marche $\delta = \lambda$. Ainsi $\delta = \lambda = \frac{ei}{D}$.

14- L'**effet Doppler** est une variation de la fréquence de l'onde perçue par un observateur, si la source est en mouvement par rapport à lui. Le **décalage Doppler** est d'autant plus marqué que la vitesse de la source par rapport à l'observateur est grande.

Exemple : principe de l'effet Doppler ; l'effet Doppler est vrai pour tout type d'ondes, il est notamment utilisé en astronomie.



 COURS

15- Le **décalage Doppler Δf** (en Hz) est égal à la différence entre la **fréquence de l'onde captée par le récepteur f_r** (en Hz) et la **fréquence de l'onde produite par l'émetteur f_e** (en Hz). Ce décalage dépend de la fréquence émise f_e , de la **vitesse de l'émetteur par rapport au récepteur v** (en m.s^{-1}) et de la **célérité de l'onde c** (en m.s^{-1}).

- Si seul l'émetteur est en mouvement par rapport au référentiel d'étude.

- si l'émetteur se rapproche $f_r = f_e \left(\frac{c}{c-v} \right)$, donc $f_r > f_e$ donc un son audible sera plus aiguë et une onde lumineuse visible sera plus "bleue". Donc $\Delta f = f_r - f_e = f_e \left(\frac{v}{c-v} \right)$.

- si l'émetteur s'éloigne $f_r = f_e \left(\frac{c}{c+v} \right)$, donc $f_r < f_e$ donc un son audible sera plus grave et une onde lumineuse visible sera plus "rouge". Donc $\Delta f = f_r - f_e = f_e \left(\frac{-v}{c+v} \right)$.

En effet $\lambda_r = \lambda_e \pm v T_e$ d'où $\frac{c}{f_r} = \frac{c}{f_e} \pm \frac{v}{f_e}$ ce qui implique que $f_r = f_e \left(\frac{c}{c \pm v} \right)$ et donc que $f_r - f_e = f_e \left(\frac{c}{c \pm v} - 1 \right)$.

Si la vitesse v de la source est très faible devant la célérité c des ondes, alors $c \pm v = c$ et $\Delta f = f_r - f_e = f_e \frac{\pm v}{c}$. Ce sera le cas généralement pour des sources d'ondes électromagnétiques.

- Si seul le récepteur est en mouvement par rapport au référentiel d'étude.

- si le récepteur se rapproche $f_r = f_e \left(\frac{c+v}{c} \right)$, donc $f_r > f_e$ donc un son audible sera plus aiguë et une onde lumineuse visible sera plus "bleue". Donc $\Delta f = f_r - f_e = f_e \left(\frac{v}{c} \right)$.

- si le récepteur s'éloigne $f_r = f_e \left(\frac{c-v}{c} \right)$, donc $f_r < f_e$ donc un son audible sera plus grave et une onde lumineuse visible sera plus "rouge". Donc $\Delta f = f_r - f_e = f_e \left(\frac{-v}{c} \right)$.

En effet les éléments sont inversés donc $f_r = f_e \left(\frac{c \pm v}{c} \right)$ et donc que $f_r - f_e = f_e \left(\frac{c \pm v}{c} - 1 \right)$.