Lycée Joliot Curie à 7	***PHYSIQUE XIV***	Classe de Ter Spé φχ

COURS 14

« Propriétés des ondes »

Les compétences à acquérir…

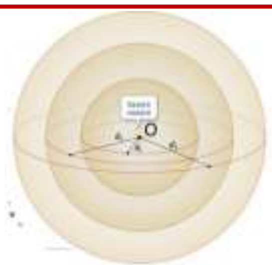
- Exploiter l'expression donnant le niveau d'intensité sonore d'un signal.
- Intensité sonore, intensité sonore de référence, niveau d'intensité sonore. - Atténuation (en dB)
- Illustrer l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption.
- Caractériser le phénomène de diffraction dans des situations variées et en citer des conséquences concrètes. - Angle caractéristique de diffraction.
- Exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de diffraction en fonction de la longueur d'onde et de la taille de l'ouverture.
- Caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes et en citer des conséquences concrètes.
- Établir les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène.
- Prévoir les lieux d'interférences constructives et les lieux d'interférences destructives dans le cas des trous d'Young, l'expression linéarisée de la différence de chemin optique étant donnée. Établir l'expression de l'interfrange.
- Décrire et interpréter qualitativement les observations correspondant à une manifestation de l'effet Doppler.
- Établir l'expression du décalage Doppler dans le cas d'un observateur fixe, d'un émetteur mobile et dans une configuration à une dimension.
- Exploiter l'expression du décalage Doppler dans des situations variées utilisant des ondes acoustiques ou des ondes électromagnétiques.

I- Quelle est la différence entre l'intensité sonore I et le niveau sonore L ?

1- L'intensité sonore I est la puissance transportée par l'onde par unité de surface

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

- P puissance de la source en .watt..(W)
- S la surface traversée par l'onde en .m^2
- I l'intensité sonore en ..W/m^2



Lorsque la source sonore, placée au point O émet de manière **isotrope** (.identique....dans.toutes..les.directions), l'intensité sonore au point M tel que OM = d est :

Surface d'une sphère de rayon d

S = ...4.π..d^2........

Donc $I = \dfrac{P}{4\pi d^2}$

Exercice :

Calculer les intensités sonores I_{proche} et $I_{éloigné}$ perçues par une personne distante de cette source d_1= 1,00 m et d_2=2,00 m. La puissance sonore émise est $P = 5{,}0.10^{-1}\ W$

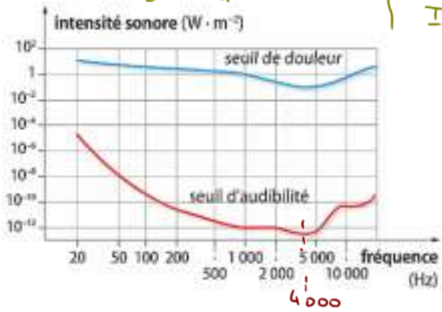
$$I_{proche} = \frac{P}{4\pi d_1^2} = \frac{5{,}0.10^{-1}}{4\pi \times 1{,}00^2} = 4{,}0.10^{-2}\ W/m^2$$

$$I_{éloigné} = \frac{5{,}0.10^{-1}}{4\pi \times 2{,}00^2} = 1{,}0.10^{-2}\ W/m^2$$

on a $\dfrac{I_{proche}}{I_{éloigné}} = \dfrac{\cancel{P}/\cancel{4\pi} d_1^2}{\cancel{P}/\cancel{4\pi} d_2^2} = \dfrac{d_2^2}{d_1^2} = \dfrac{4}{1} = 4 \Rightarrow$ Si d est x 2 alors $I_{éloigné} = \dfrac{I_{proche}}{4}$

L'oreille humaine perçoit des signaux sonores dont l'intensité est comprise entre

- une *valeur minimale égale à* **I_0=1,0 x 10^{-12} W. m^{-2}** (seuil .d'audibilité.)
- et une *valeur maximale* égale à **25 W.m $^{-2}$** (au delà du seuil de..douleur...).



Quelle la fréquence du son pour laquelle le seuil de douleur est le plus faible ? f = .4000Hz

2- Le niveau d'intensité sonore L:

Une grandeur plus aisée à exploiter que l'intensité sonore, a été introduite :
il s'agit du **niveau d'intensité sonore, noté L** pour "*level*" . Il est défini par la relation :

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

- I exprimée en ..W.m^{-2}
- I_0 = 1,0 x 10^{-12} W. m^{-2}
- L exprimé en ..dB..(décibel)

Le niveau d'intensité sonore se mesure à l'aide d'un ..sonomètre............

Exercices :

Savoir exprimer l'intensité sonore I en fonction du niveau sonore L

$L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$

$\Rightarrow 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = L$

$\Rightarrow \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{L}{10}$

$\Rightarrow 10^{\log(I/I_0)} = 10^{L/10}$

$\Rightarrow I/I_0 = 10^{L/10}$

$\Rightarrow \boxed{I = I_0 \times 10^{L/10}}$

> Outil mathématique :
> - Les fonctions mathématiques log (logarithme décimal) et 10^x sont des fonctions inverses :
>
> $\log(10^x) = x$ et $10^{\log(x)} = x$
> - $\log(\frac{a}{b}) = \log(a) - \log(b)$
> - $\log(a \times b) = \log(a) + \log(b)$
> - $\log(1) = \log 10^0 = 0$
> - $\log(10) = \log 10^1 = 1$

Calculez l'intensité sonore I dans une salle de classe sachant que le niveau d'intensité sonore est L = 55 dB

on a $I = I_0 \times 10^{L/10}$

$= 1{,}0.10^{-12} \times 10^{55/10}$

$= 3{,}2.10^{-7}\ W/m^2$

Dans une pièce, si 2 personnes parlent en même temps avec une même intensité I alors **les intensités sonores s'ajoutent.** $I_{total} = I + I = 2I$

De combien augmente le niveau sonore L ?

on a $L = 10\log(I/I_0)$ { 1 personne

$L_{tot} = 10\log\left(\frac{2I}{I_0}\right)$ { 2 personnes

$= 10\log\left(2 \times \frac{I}{I_0}\right)$ { $\log(a \times b) = \log a + \log b$

$\Rightarrow L_{tot} = \underbrace{10\log(I/I_0)}_{L} + \underbrace{10\log 2}_{3}$

$\Rightarrow L_{tot} = L + 3$

{ Augmentation de 3 dB

3- L'atténuation A :

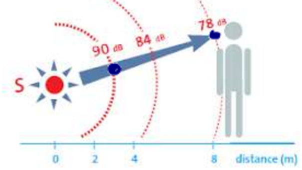
« On entend moins bien quand on s'éloigne de la source ou quand on place un objet entre la source et son oreille »

Un son peut être perçu à des niveaux d'intensité sonore différents qui dépendent .distance....... entre la source et le récepteur mais également de la nature... du matériau qui sépare la source du récepteur. On parle :

D'atténuation géométrique A (en dB) : on évalue la diminution du niveau d'intensité sonore L lorsque la distance augmente :

$A = L_{proche} - L_{éloigné} > 0$

dB dB dB



$A = 90 - 78$
$= 12\ dB$

D'atténuation par absorption A (en dB) : on évalue l'efficacité d'un matériau à lutter contre la transmission du bruit :

$A = L_{émis} - L_{transmis} > 0$

Exercices : Exprimer l'atténuation A en fonction des intensités sonores I et I'

on a $A = L_{émis} - L_{transmis}$

$\Rightarrow A = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) - 10\log\left(\frac{I'}{I_0}\right)$ { $\log a - \log b = \log(a/b)$

$\Rightarrow A = 10\log\left(\frac{I/\cancel{I_0}}{I'/\cancel{I_0}}\right)$

$\Rightarrow A = 10\log\left(\frac{I}{I'}\right)$

Quelle est l'atténuation A lorsque la distance r entre l'émetteur et le récepteur est doublée.

Sachant que $I = \frac{P}{4\pi r^2}$

alors $A = 10\log\left(\frac{\cancel{P}/\cancel{4\pi} r^2}{\cancel{P}/\cancel{4\pi}(2r)^2}\right) = 10\log\left(\frac{4r^2}{r^2}\right)$

$\Rightarrow A = 10\log(4) = 6{,}0\ dB$

{ Si r est doublé alors l'atténuation A augmente de 6 dB

L'intensité sonore diminue quand le son traverse un milieu matériel dans lequel une partie de la puissance sonore est absorbée.

Des bouchons d'oreilles permettent une atténuation par absorption A=27 dB.

De combien la puissance a-t-elle diminué ?

la surface est la même

on a montré que $A = 10\log\left(\frac{I}{I'}\right) \Rightarrow A = 10\log\left(\frac{P/\cancel{4\pi d^2}}{P'/\cancel{4\pi d^2}}\right)$

$\Rightarrow A = 10\log\left(\frac{P}{P'}\right)$

$$\Rightarrow \log\left(\frac{P}{P'}\right) = A/10$$

$$\Rightarrow \frac{P}{P'} = 10^{A/10} = 10^{27/10} \Rightarrow \frac{P}{P'} = 500 \quad \text{donc } P' = \frac{P}{500}$$

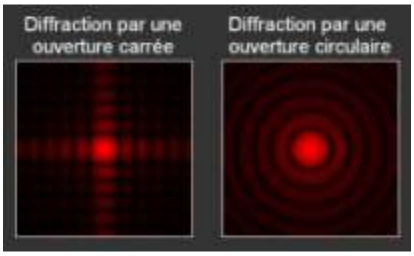
Avec un bouchon la puissance est divisée par 500

II Etude du phénomène de diffraction :

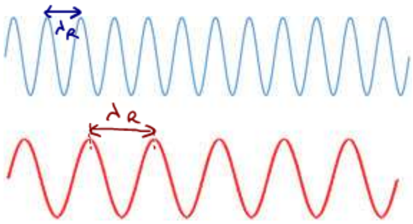
Lorsqu'une **onde mécanique ou une onde électromagnétique** (…OEM………) passe à travers une **fente** ou rencontre un obstacle, sa direction de propagation est .modifiée.. : C'est le phénomène de .diffraction...

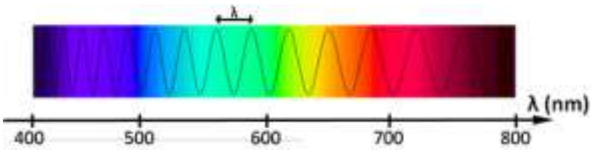
L'eau à travers un « passage »

Laser à travers une fente verticale



Rappel sur les ondes mécaniques ou ondes électromagnétiques OEM :





L'œil humain n'est sensible qu'aux radiations (OEM) dont la longueur d'onde est comprise entre 380….. et ..780…. nm.

La **longueur de l'onde** .λ (lambda) de l'onde correspond à la distance que parcourt l'onde pendant **la période** .T. (…s…..) à la **célérité** .C.. (.de la lumière……..) telle que :

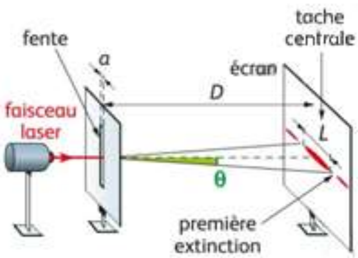
$$\boxed{C = \frac{\lambda}{T}} \quad \text{or } f = \frac{1}{T} \Leftrightarrow T = \frac{1}{f}$$

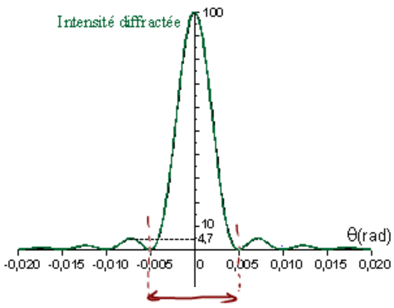
$$\text{donc } C = \lambda \times \frac{1}{T} \Rightarrow \boxed{C = \lambda \times f}$$

1- Expérience :

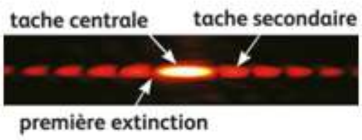
L'expérience de diffraction en utilisant **des fentes de tailles différentes** nous permet de dire que:

Plus la largeur a de la fente est faible, plus la lumière « s'étale » et plus la **largeur L de la tâche centrale de la figure de diffraction est** ..large…………





- La largeur L de la tache centrale est mesurée entre 2 ..extinctions...
- Ce phénomène de diffraction est aussi observé avec un .fil de diamètre a



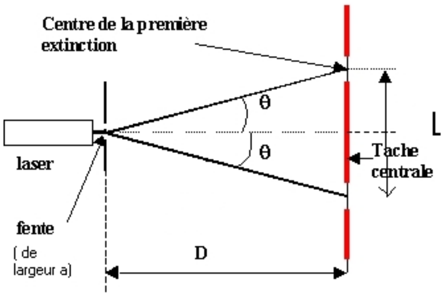
Mesurer l'angle θ = 0,005 + 0,005 = 0,01 rad

Remarque

- Le phénomène de diffraction est observable au passage d'une ouverture ou d'un obstacle de taille *a* du même ordre de grandeur ou inférieure à la longueur d'onde λ ($a \leq 10.\lambda$ environ).
- Lors d'une diffraction, **il n'y a pas de modification de la fréquence.**
- Dans le cas des ondes lumineuses, le phénomène s'observe pour une ouverture de l'ordre de quelques centaines de fois λ.

2- Etude théorique :

a- Etude géométrique du montage :



Exprimez **l'angle θ (téta) appelé angle caractéristique de la diffraction** en fonction de la distance D, séparant la fente de dimension a et l'écran, et la largeur L de la tache centrale de diffraction sachant que l'angle θ est petit.

$$\tan\theta = \frac{L/2}{D} = \frac{L}{2D}$$

θ étant petit $\tan\theta \simeq \theta$ $\quad\Rightarrow \theta = \frac{L}{2D}$ *Relation 1*

b- Définition de l'angle caractéristique de la diffraction θ:

L'angle caractéristique de la diffraction θ est l'angle sous lequel est vue la moitié de la tache centrale depuis l'objet diffractant qui peut être une ..fente.. ou un fil.:

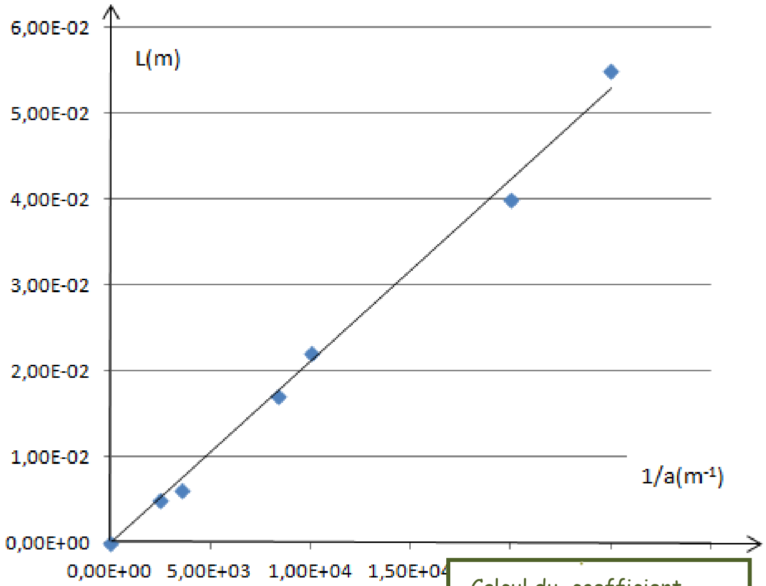
Il existe une relation entre θ, λ et a pour une fente fine avec θ écart angulaire en radian (rad),

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

Relation 2

- λ longueur d'onde du laser exprimée en ...m...ou..nm
- a dimension de l'objet diffractant (fente ou fil) exprimée en ..m.ou..nm
- θ l'angle caractéristique de la diffraction exprimée en ...radian..(rad)

c- Exploitation des 2 relations précédentes:



Comme en TP, nous pouvons construire la courbe L = f(1/a) pour différentes tailles de fente en utilisant un laser défini par une longueur d'onde λ_{laser} = 650 nm et une distance D=1,77 m

La courbe L = f(1/a) est ..une..droite....... qui.passe....par...l'origine............
....

Donc L et 1/a sont...proportionnels... :

donc L = ..k..× $\frac{1}{a}$

Calculons le coefficient de proportionnalité k

Deux points A et B sont choisis <u>sur la droite</u> et les coordonnées sont faciles à lire

A(0,0 ; 0,0) et B($9{,}4\cdot10^{3}$; $2{,}00\cdot10^{-2}$)

$$k = \frac{L_B - L_A}{1/a_B - 1/a_A} = \frac{2{,}00\cdot10^{-2} - 0{,}0}{9{,}4\cdot10^{3} - 0{,}0} = 2{,}12\cdot10^{-6}\ m^2 \quad (k = L\times a)$$

> Calcul du coefficient directeur d'une droite
>
> $$k = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$$

Montrons, avec les relations 1 et 2, que L et 1/a sont bien proportionnels

On a $\theta = \frac{L}{2D}$ et $\theta = \frac{\lambda}{a}$

$\Rightarrow \frac{L}{2D} = \frac{\lambda}{a} \Rightarrow L = \frac{\lambda 2D}{a}$

$\Rightarrow L = \underbrace{2D\lambda}_{k} \times \frac{1}{a}$

donc $k = 2D\lambda$ qui est une constante

Calculons la longueur d'onde λ_{exp} et comparons là avec celle donnée par le constructeur $\lambda_{théo}$= 650 nm

On a donc $k = 2D\lambda_{exp}$

$\Rightarrow \lambda_{exp} = \frac{k}{2D} = \frac{2{,}12\cdot10^{-6}}{2\times1{,}77}$

$\Rightarrow \lambda_{exp} = 6{,}00\cdot10^{-7}$ m

$= 6{,}00\cdot10^{-7}\times10^{+9}$ nm) + grand

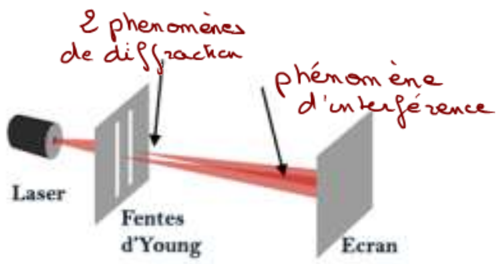
$= 600$ nm

Comparons λ_{exp} et $\lambda_{théo}$

$$\%E = \frac{|\lambda_{exp} - \lambda_{théo}|}{\lambda_{théo}}\times100 = \frac{|600 - 650|}{650}\times100 = 7{,}7\,\%$$

III- Interférences :

1-Phénomène d'interférence : Vidéo « Dr Quantum_ Expérience des fentes de Young »



- Le faisceau lumineux issu du laser traverse les 2 fentes.

- A la sortie de ces 2 fentes, « c'est comme si », il apparaissait 2 ..sources… de lumière. S_1 et S_2

- Les 2 faisceaux de lumière issus des 2 fentes se .superposent sur une partie de l'écran : il y a .interférence

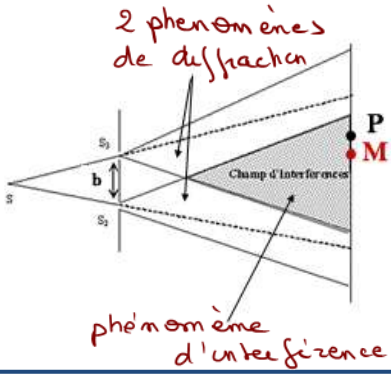
Sur l'écran :

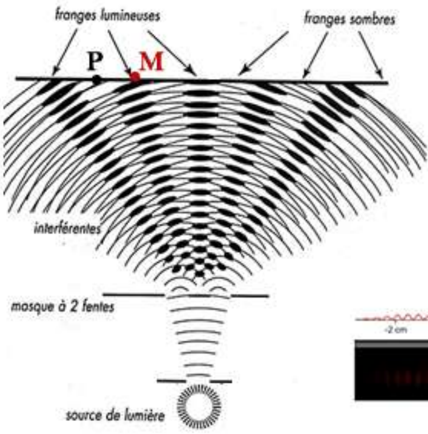
On observe une figure d'interférence sur l'écran.

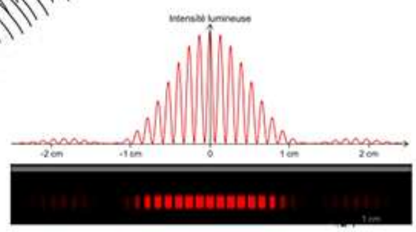
En un point sur l'écran recevant de la lumière provenant de ces « 2 sources lumineuses », comment expliquer que celui-ci ne soit pas éclairé ?

2- Interprétation du phénomène d'interférences :

a- Comment un point de l'écran peut-il ne pas être « éclairé » ?







Une source lumineuse S (laser) est dirigée vers 2 fentes appelées fentes d'..Young.....
A la sortie de ces 2 fentes, c'est comme si, il y avait 2 sources lumineuses S1 et S2. Les 2 sources sont dites **sources** cohérentes… entre elles, c'est-à-dire de même ..fréquence..
Chaque source S1 et S2 à la sortie des fentes subissent un phénomène de ……………………….
Une partie des 2 faisceaux de lumière ainsi créés se superposent entrainant un **phénomène** .d'interférence..

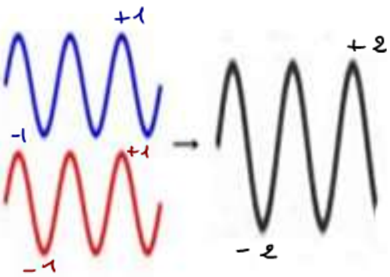
On observe que :
- le point M est ..éclairé.........
- le point P n'est pas ..éclairé…

Au point M, les deux ondes arrivent en phase…., les 2 ondes « s'ajoutent » Le point M est ..éclairé.
On dit qu'il y a **interférences** .constructives.......

Onde 1 issue de S1

—> Onde 1 + 2

Onde 2 issue de S2

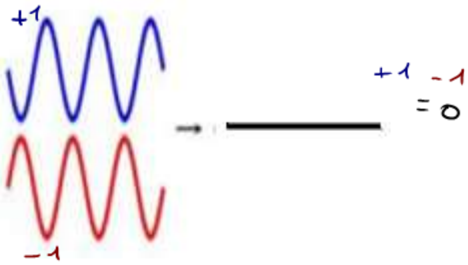


Au point P, les deux ondes arrivent en .opposition…. de phase….. les 2 ondes « s'annulent » Le point P n'est pas ..éclairé.
On dit qu'il y a **interférences** .destructives.......

Onde 1 issue de S1

—> Onde 1 + 2

Onde 2 issue de S1

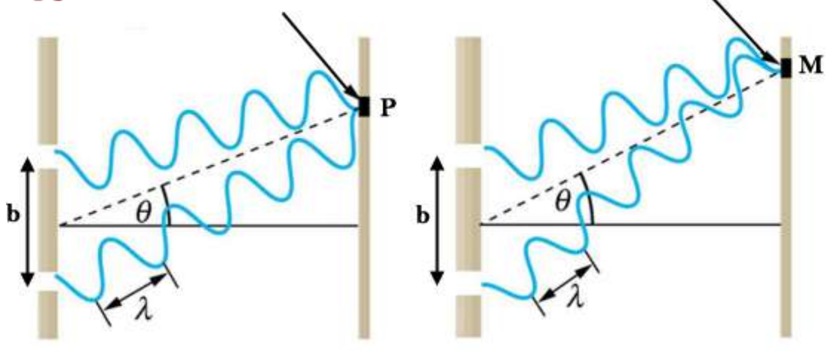


Remarque: les interférences destructives sont mises à profit dans les casques anti-bruit : il génère un bruit équivalent au bruit ambiant mais en opposition de phase ce qui supprime le bruit ambiant.

b- Pourquoi les ondes n'arrivent-elles pas de la même « façon » sur tout l'écran ?

Les ondes arrivent en opposition de phase
Interférence destructive
Le point P n'est pas éclairé

Les ondes arrivent en phase
Interférence constructive
Le point M est éclairé

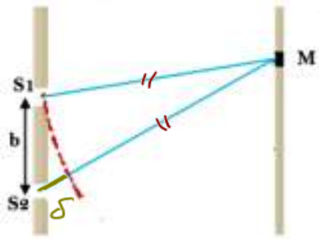


(a) (b)

Le point P n'est pas éclairé
Parce que les ondes issues de S1 et S2 ne parcourt pas la même distance pour arriver au point M
$S_1M \neq S_2M$
et n'arrivent pas, en un point, dans le même état vibratoire.........

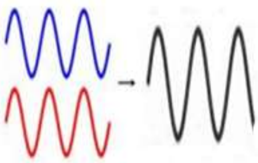
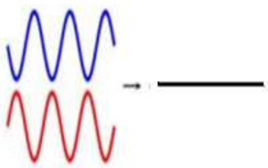
On appelle **différence de marche δ** en un point M la différence entre les distances S_1M et S_2M
Sa valeur peut être positive ou négative.

$\delta = S_2M - S_1M$



$k > 0$
$k < 0$

c- Quelle est la condition sur δ pour obtenir en un point des interférences constructives ou destructives ?

Au point **M**, il y a **interférence contructive**	Au point **P**, il y a **interférence destructive**
	
$\delta = k \times \lambda$ avec $k \in \mathbb{Z}$ ..., −1, 0, 1, 2, ...	$\delta = \frac{\lambda}{2} + k\lambda$ avec $k \in \mathbb{Z}$

3- L'interfrange i :

a- définition de l'interfrange :

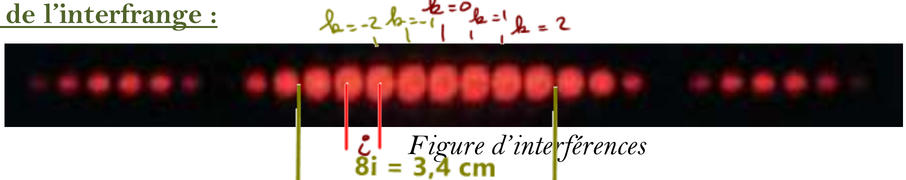


Figure d'interférences

Dans une figure d'interférences, les franges brillantes (ou sombres) sont équidistantes.
L'interfrange i est la distance entre ces franges brillantes. ou 2 extinctions

b- Mesure graphique de l'interfrange sur une figure d'interférence :

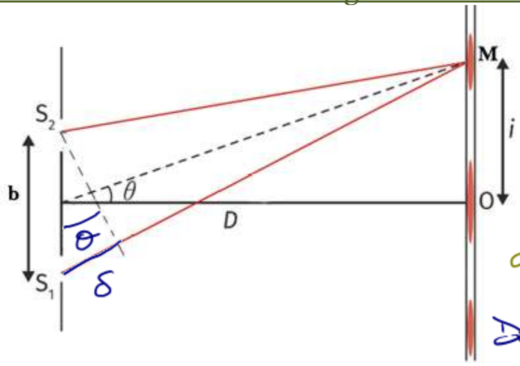
A partir de la figure d'interférence, déterminer le plus précisément la valeur de l'interfrange.

Afin d'être plus précis je mesure plusieurs interfranges i

$8\,i = 3{,}4 \text{ cm} \Rightarrow i = \dfrac{3{,}4}{8} = 0{,}43 \text{ cm}$

c- La formule de l'interfrange i : démonstration

θ étant petit $\begin{cases} \tan\theta \simeq \theta \\ \sin\theta \simeq \theta \end{cases}$



$\tan\theta \simeq \theta = \dfrac{i}{D}$ et $\sin\theta \simeq \theta \simeq \dfrac{\delta}{b}$

$\Rightarrow \dfrac{i}{D} = \dfrac{\delta}{b} \Rightarrow i = \dfrac{\delta D}{b}$

Le point M est éclairé (le premier) $\Rightarrow \delta = k\lambda = \lambda$ avec $k=1$

Donc $i = \dfrac{\lambda D}{b}$

d- Longueur d'onde λ du laser utilisé

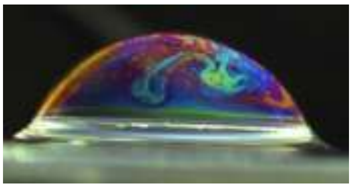
Pour une distance D = 1,80 m et une distance b=0,28 mm entre les 2 fentes, calculer la valeur de la longueur d'onde λ_{exp} du laser utilisé

on a $i = \dfrac{\lambda_{exp} \times D}{b} \Rightarrow \lambda_{exp} = \dfrac{i \times b}{D} = \dfrac{0{,}43.10^{-2} \times 0{,}28.10^{-3}}{1{,}80} = 6{,}69.10^{-7}$ m

$= 669$ nm

Pour le plaisir !

La source lumineuse est une lumière blanche, c'est-à-dire composée d'une infinité de radiation.



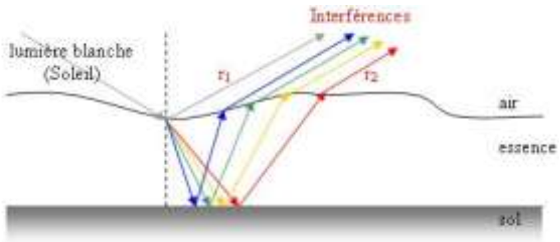
L'iridescence est un phénomène optique qui provient de la structure de l'objet observé. Des différences de couleurs de l'objet seront perçues en fonction de l'angle de vue.

Ce phénomène peut être observé sur les CD-ROM, bulles de savons mais aussi sur la carapace de certains insectes ou sur les ailes de papillons. Les carapaces de scarabées sont composées de plusieurs couches d'écailles transparentes. En traversant l'empilement complexe de ces microstructures, les rayons lumineux sont **interférés.**

Blue Morpho Butterfly

Dorsal view of male specimen (MHNT)

Vu leurs positions et leurs épaisseurs, les écailles provoquent des **interférences** qui ont des longueurs d'onde bien déterminées, c'est pour cela que les couleurs changent selon l'angle sous lequel nous percevons l'insecte.



Ventral view of same specimen above

Vidéo : http://www.universcience.tv/video-d-ou-vient-la-couleur-des-ailes-de-papillon-5784.html

IV- Effet DOPPLER :

1- Mise en évidence du phénomène

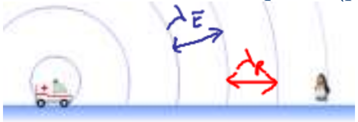
Un son de fréquence f_E émis par une sirène d'ambulance est perçu plus …aigu………………… lorsque l'ambulance est en approche : la fréquence est donc plus …élevée…… $f_R > f_E$

Le même son est, maintenant, perçu plus …grave……. lorsque le véhicule s'éloigne : la fréquence est donc plus …faible……… $f_R > f_E$

Ce phénomène illustre …l'effet DOPPLER

2- Interprétation :

L'ambulance et le récepteur (pingouin) sont immobiles :



Expression de la longueur d'onde λ_E

$\lambda_E = \frac{v_{son}}{f_E} \Rightarrow f_E = \frac{v_{son}}{\lambda_E}$ (f_E = cste, λ_E = cste)

Une onde sonore de fréquence f_E (fréquence émetteur) est créée par une ambulance immobile.

Cette onde se déplace à la vitesse du son v_{son} telle que $v_{son} = \frac{\lambda_E}{T_E} = \lambda \times \frac{1}{T}$ (f_E)

$v_{son} = \lambda_E \times f_E$

Elle est perçue à la …même… fréquence f_R (fréquence récepteur) par le pingouin !

$f_R = f_E \Rightarrow \frac{\cancel{v_{son}}}{\lambda_R} = \frac{\cancel{v_{son}}}{\lambda_E} \Rightarrow \underline{\lambda_R = \lambda_E}$

L'ambulance s'approche du récepteur (pingouin) :

On a toujours $\lambda_E = \frac{v_{son}}{f_E}$

L'ambulance est en approche vers le pingouin.

Montrons que le son perçu est plus .aigu…donc que $f_R > f_E$

on observe que $\boxed{\lambda_R < \lambda_E}$

$v_{son} = \lambda_E \times f_E$ et $v_{son} = \lambda_R \times f_R$ $\Rightarrow \frac{\cancel{v_{son}}}{f_R} < \frac{\cancel{v_{son}}}{f_E} \Rightarrow 1 \times f_E < 1 \times f_R \Rightarrow f_E < f_R$

$\Rightarrow f_R > f_E$ le son perçu est bien plus aigu.

L'ambulance s'éloigne du récepteur (pingouin) :

On a toujours $\lambda_E = \frac{v_{son}}{f_E}$

L'ambulance s'éloigne :

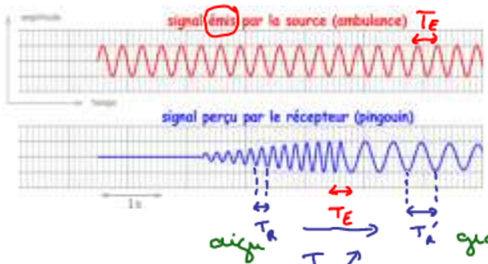
Montrons que le son perçu est plus …………………

On observe que $\lambda_R > \lambda_E$

$\Rightarrow \frac{\cancel{v_{son}}}{f_R} > \frac{\cancel{v_{son}}}{f_E} \Rightarrow \frac{1}{f_R} > \frac{1}{f_E} \Rightarrow f_E > f_R \Rightarrow f_R < f_E$

le son perçu est plus grave

Enregistrement du son dans l'ambulance et l'enregistrement du son perçu par le pingouin : **Amplitude = f(temps)**



Ambulance immobile ou en mvt.

$T_E = \frac{1}{f_E} \Rightarrow f_E$ = constante.

T_R augmente avec $f_R = \frac{1}{T_R}$ diminue

$f_R \searrow$ le son perçu est de + en + grave.

3- Comment l'effet Doppler permet-il de déterminer la vitesse de la source v ?

L'étude de ce phénomène conduit aux relation suivantes **qu'il faut savoir appliquer** :

Il est possible de relier la fréquence f_E émise par la source, la fréquence f_R reçue par le récepteur, la vitesse de propagation (célérité) de l'onde v_{son} et la vitesse v du récepteur(ambulance) par rapport à l'émetteur.

Pour une onde sonore, on a :

$$|\Delta f| = |f_R - f_E| = \frac{v}{v_{son}} \times f_E$$

- v : vitesse du ~~récepteur~~ émetteur m/s
- $v_{son} = 340\ m/s$: vitesse du son dans l'air

$|x| = x$ si $x > 0$ $\quad |x| = -x$ si $x < 0$

$|2| = 2 \quad |-2| = -(-2) = 2$

Exercice :

Si l'émetteur s'approche du récepteur, le son est perçu plus aigu..
$f_R > f_E$ donc $f_R - f_E > 0$
conclusion $|f_R - f_E| = f_R - f_E$
Exprimer la fréquence f_R en fonction de f_E et montrer qu'on a bien $f_R > f_E$
Exprimer aussi v en fonction de v_{son}, f_R et f_E

$$\boxed{f_R - f_E = \frac{v}{v_{son}} \times f_E}$$

$$\Rightarrow f_R = f_E \times 1 + \frac{v}{v_{son}} \times f_E$$

$$\Rightarrow f_R = f_E \times \underbrace{\left(1 + \frac{v}{v_{son}}\right)}_{>1}$$

$$1 + \frac{v}{v_{son}} > 1$$

$$\Rightarrow f_R > f_E$$

Le son est bien + aigu

Si l'émetteur s'éloigne du récepteur, le son est perçu plus .grave
$f_R < f_E$ donc $f_R - f_E < 0$
conclusion $|f_R - f_E| = -(f_R - f_E) = -f_R + f_E$
Exprimer la fréquence f_R en fonction de f_E et montrer qu'on a bien $f_R \dots f_E$
Exprimer aussi v en fonction de v_{son}, f_R et f_E

$$\boxed{-f_R + f_E = \frac{v}{v_{son}} \times f_E}$$

$$\Rightarrow -f_R = -f_E + \frac{v}{v_{son}} \times f_E$$

$$\Rightarrow f_R = f_E - \frac{v}{v_{son}} \times f_E$$

$$f_R = f_E \times \left(1 - \frac{v}{v_{son}}\right)$$

$$1 - \frac{v}{son} < 1$$

$$\Rightarrow f_R < f_E$$

Le son est + grave.

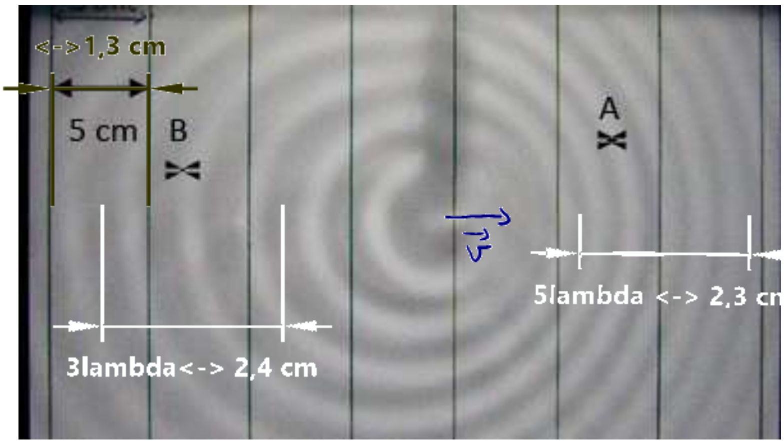
Remarque :

Cette relation est mise à profit dans les échographies afin de mesure la vitesse d'écoulement des fluides biologiques à partir de la mesure du décalage de fréquence d'une onde ultrasonore lorsque celle-ci se réfléchie sur les cellules du fluide en mouvement.
De même, l'effet Doppler permet de mesurer la vitesse des véhicules grâce aux radars...

4- Effet Doppler dans une cuve à onde :

Exercice :

Calculez les longueurs d'onde λ_A et λ_B aux points A et B et en déduire les fréquences f_A et f_B sachant que la vitesse des ondes dans l'eau est
$v_{onde} = 12$ cm/s et que la fréquence fe= 5Hz
En déduire la vitesse de la source v



Calul de la vitesse de la source v au point A

Echelle horizontale

$$\begin{cases} 5\lambda_A \leftrightarrow 2,3 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \leftrightarrow 1,3 \text{ cm} \end{cases} \Rightarrow \lambda_A = \frac{2,3 \times 5}{1,3 \times 5}$$

$$\Rightarrow \lambda_A = 1,8 \text{ cm}$$

or $v_{onde} = \lambda_A \times f_A$

$$\Rightarrow f_A = \frac{v_{onde}}{\lambda_A} = \frac{12}{1,8} = 6,8 \text{ Hz}$$

D'après la formule

$$|f_A - f_e| = \frac{v}{v_{onde}} \times f_e$$

$$\Rightarrow v = \frac{|f_A - f_e|}{f_e} \times v_{onde} = \frac{6,8 - 5}{5} \times 12$$

$$= 4,3 \text{ cm/s}$$

Calcul de la vitesse de la source v au point B $\vec{v}$

Echelle horizontale

$$\begin{cases} 3\lambda_B \leftrightarrow 2{,}4 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \leftrightarrow 1{,}3 \text{ cm} \end{cases} \Rightarrow \lambda_B = \frac{2{,}4 \times 5}{1{,}3 \times 3}$$

$\Rightarrow \lambda_B = 3{,}0$ cm

or $v_{onde} = \lambda_B \times f_B$

$$\Rightarrow f_B = \frac{v_{onde}}{\lambda_B} = \frac{12}{3{,}0} = 4{,}0 \text{ Hz}$$

D'après la formule

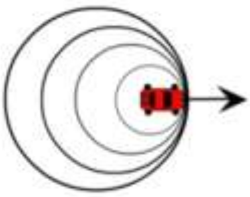
$$|f_B - f_e| = \frac{v}{v_{onde}} \times f_e$$

$$\Rightarrow v = \frac{|f_B - f_e|}{f_e} \times v_{onde} = \frac{5 - 4{,}0}{5} \times 12$$

$$= 2{,}4 \text{ cm/s}$$

?

5- Mur du son :

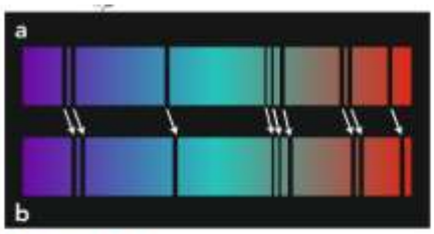


Lorsque l'émetteur atteint la vitesse du son, les ondes sonores s'accumulent devant lui, c'est le mur du son...
Lorsque ce mur est franchit, on entend le fameux
..bang.. supersonique

6- Autre application en astronomie:

L'effet Doppler Fizeau permet de calculer la vitesse radiale (composante sur le rayon) d'une étoile.

Pour cela il faut comparer les longueurs d'onde de son spectre d'absorption à celles d'un spectre de référence
Lorsqu'une étoile ou une galaxie s'éloigne de la Terre, ces longueurs d'onde se déplacent vers le rouge (grandes longueurs d'onde), c'est le ..redshift.....
Par contre quand l'étoile ou la galaxie se rapproche de la Terre, le décalage est vers le bleu, on parle de ..blue shift..........



Doc. 16 a. Spectre de référence obtenu avec une source immobile par rapport à l'observateur ;
b. spectre obtenu avec une source s'éloignant de l'observateur.