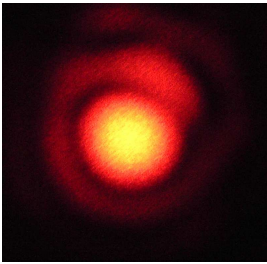


Term S - Chap 03 – Propriétés des ondes

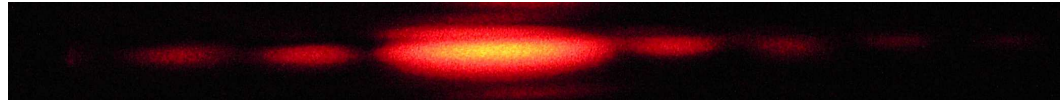
I) Diffraction

1) Présentation :

Matériel : vidéoprojecteur pour photos , cuve à ondes, laser + fente réglable + support



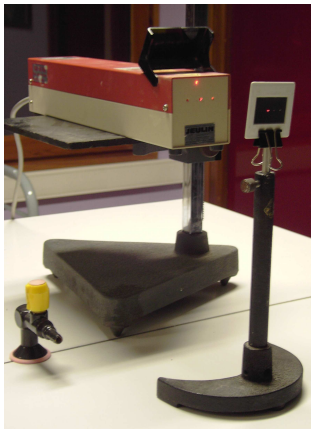
Exemples : Diffractions d'une onde à la surface de l'eau, d'une onde sonore, de la lumière.



Les ondes mécaniques sont diffractées lorsqu'elles rencontrent un obstacle (fil) ou une ouverture (fente ou trou).

2) Condition d'obtention :

La dimension de l'obstacle ou de l'ouverture doit être voisine de leur longueur d'onde.



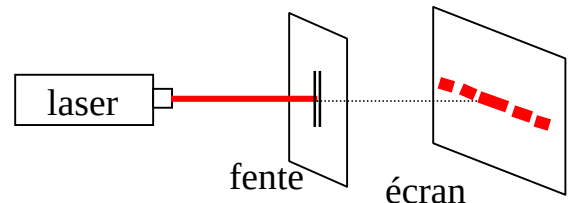
3) Diffraction d'une onde lumineuse

On observe sur l'écran une figure de diffraction. Ce phénomène se produit lorsque la lumière passe par une ouverture de petite taille, elle est diffractée.

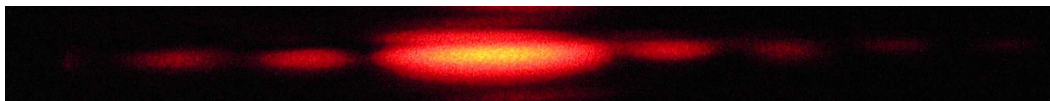
Plus l'ouverture est petite, plus la diffraction est marquée.

La figure de diffraction est constituée d'une tache centrale double des taches voisines.

Ces taches sont alignées selon une direction perpendiculaire à la fente.
Plus la fente est étroite, plus la diffraction est marquée.



Photo



schéma

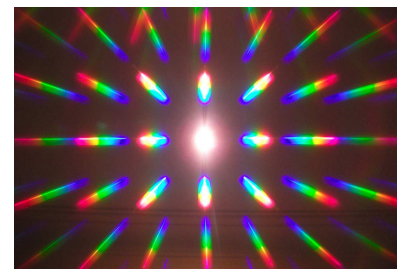


4) Interprétation :

La diffraction étant caractéristique des ondes, ces expériences montrent le caractère ondulatoire de la lumière. La lumière est une onde électromagnétique qui se propage.

5) Diffraction de la lumière blanche : (expérience)

On observe la lumière du soleil à travers un voile de tégol.
On obtient aussi une diffraction, avec des taches irisées bordées de rouge d'un côté et de violet de l'autre, formant une croix.



6) problèmes dues à la diffraction :

* lire p 67 – doc 4 – DVD et Blu-ray

* en photographie, si l'ouverture du diaphragme est petite, il y a parfois diffraction sur la photo

7) Etude détaillée de la diffraction d'un faisceau laser par une fente :

L'ouverture est une fente de largeur a (en m).

λ_0 : longueur d'onde de la radiation dans le vide (m)

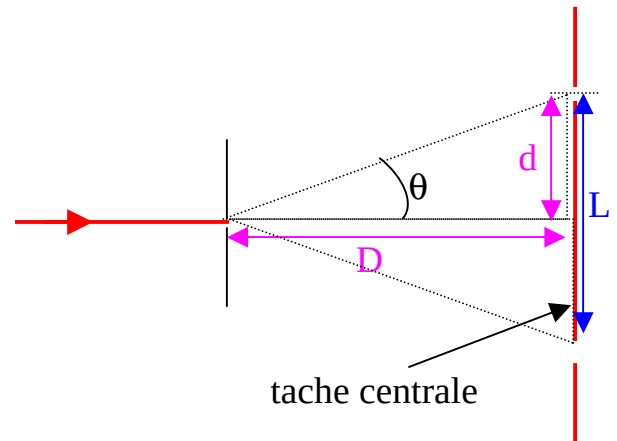
θ : écart angulaire (en rad) entre le milieu de la tache centrale et la 1^{ère} extinction .

$$\theta = \lambda_0 / a$$

D'après le schéma, $\tan \theta = \sin \theta / \cos \theta = d / D$

$$\tan \theta = d / D = L / 2 D$$

Si θ est petit, $\tan \theta \approx \theta$. $\theta \approx L / 2 D$

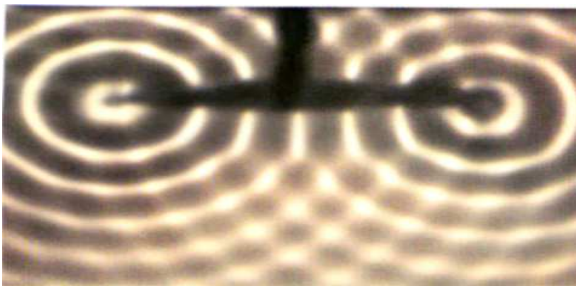


II) Interférences :

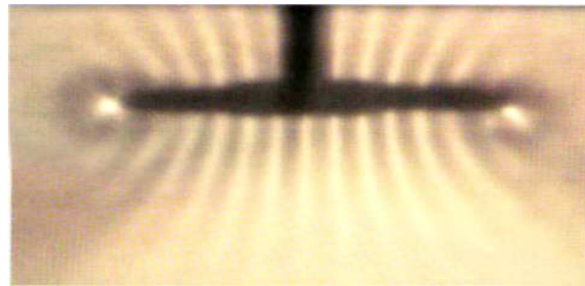
1) Mise en évidence expérimentale

Sur une cuve à onde, deux pointes verticales vibrent transversalement. Ces deux pointes étant issues d'un même vibreur elles sont dites synchrones : elles ont en permanence la même fréquence et sont en phase à tout instant.

Les ondes progressives ainsi générées se superposent ; on voit alors apparaître des zones d'amplitude maximale et d'autres d'amplitude minimale (zone brillante et sombre) : ce sont des franges d'interférence.

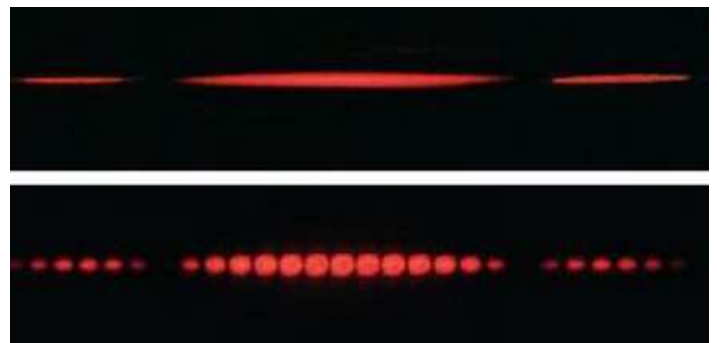


Interférences sur une cuve à ondes



Franges d'interférences photographiées avec un long temps de pose

Si on éclaire deux fentes parallèles proches (fentes de Young) avec une lumière monochromatique (laser) , on observe une figure de diffraction striée d'une alternance de bandes noires et lumineuses appelées franges d'interférences.



diffractions avec une fente et avec deux fentes

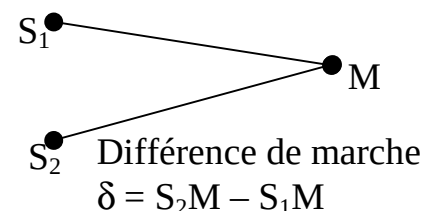
2) Nécessité de sources cohérentes :

Les interférences n'existent que si les sources ont la même fréquence et un déphasage constant. Les sources sont alors cohérentes.

3) Interférences constructives et destructives

Les deux ondes qui interfèrent sont émises simultanément par chacune des sources, mais doivent parcourir des distances différentes pour parvenir à un endroit donné du milieu.

La différence entre les distances parcourues par deux ondes issues de sources synchrones qui interfèrent en un point M, est appelée différence de marche, notée δ .



Dans le cas particulier d'un point M où δ est un multiple entier de la longueur d'onde λ , le retard d'une onde par rapport à l'autre est égal à un nombre entier de périodes, si bien que les deux ondes sont en phase en ce point M.

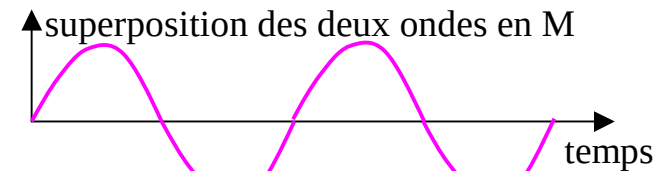
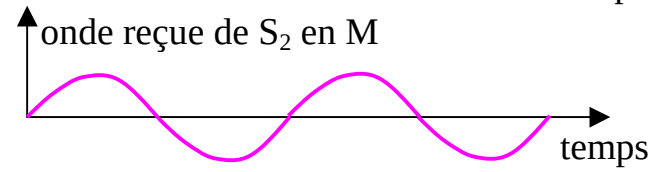
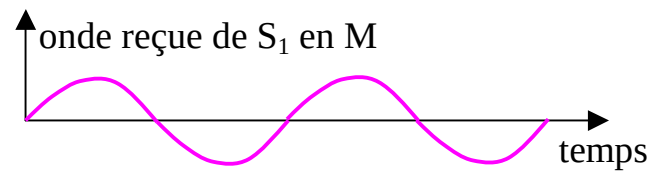
Ainsi les deux ondes ont des amplitudes maximales en même temps, ce qui rend également maximale l'amplitude de leur superposition : les interférences sont constructives.

Inversement, si la différence de marche δ au point M est égalé à un nombre entier de longueurs d'onde additionné d'une demi-longueur d'onde, les interférences sont destructives. Les ondes sont en opposition de phase.

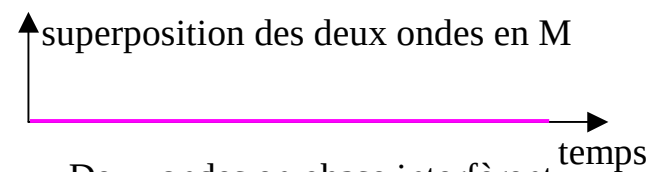
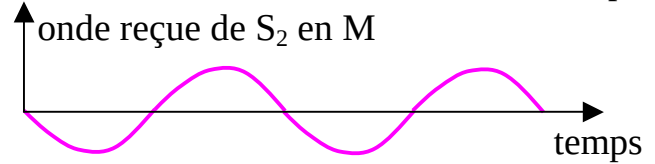
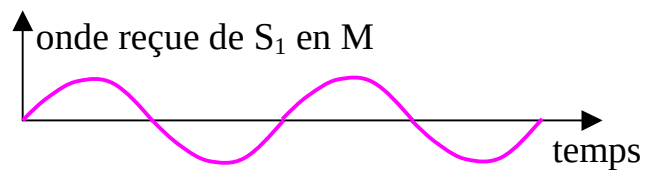
Au point M, l'interférence de ces deux ondes de longueur d'onde λ est :

- constructive si $\delta = k \times \lambda$
- destructive si $\delta = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda$ avec k entier relatif.

Dans le cas où la différence de marche est quelconque, l'amplitude n'est ni nulle ni maximale.



Deux ondes en phase interfèrent de manière constructive



Deux ondes en phase interfèrent de manière destructive

Application :

Comment savoir si les interférences sont constructives ou destructives en un point ?

Deux haut-parleurs S_1 , et S_2 placés face à face et distants de $d = 60$ cm engendrent des ondes progressives, de fréquence $f = 1,7$ kHz et de célérité $v = 340$ m.s⁻¹.

Les interférences au point M_1 situé entre S_1S_2 à 10 cm de M_1 et au point M_2 situé à 45 cm de S_2 sur ce même axe sont-elles constructives ou destructives ?

Réponse :

La longueur d'onde est

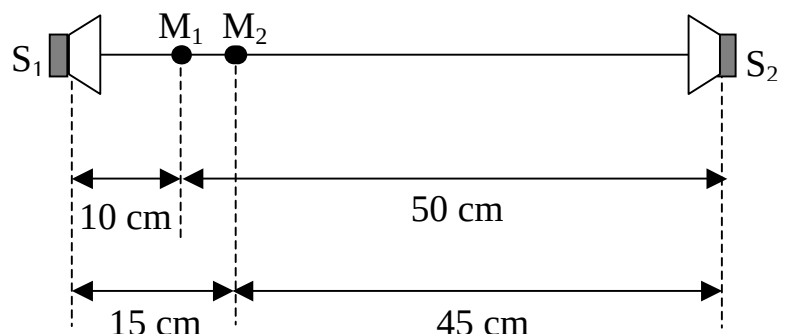
$$\lambda = v / f = 340 / 1,7 \cdot 10^3 = 0,20 \text{ m} = 20 \text{ cm.}$$

La différence de marche des deux ondes en M_1 est : $\delta = S_2M_1 - S_1M_1 = 50 - 10 = 40$ cm.

$\delta = 2 \lambda$, les interférences sont constructives et la superposition des ondes en M_1 a une amplitude maximale.

La différence de marche des deux ondes en M_2 est : $\delta = S_2M_2 - S_1M_2 = 45 - 15 = 30$ cm.

$\delta = 1,5 \lambda$, les interférences sont destructives et la superposition des ondes en M_1 a une amplitude minimale.

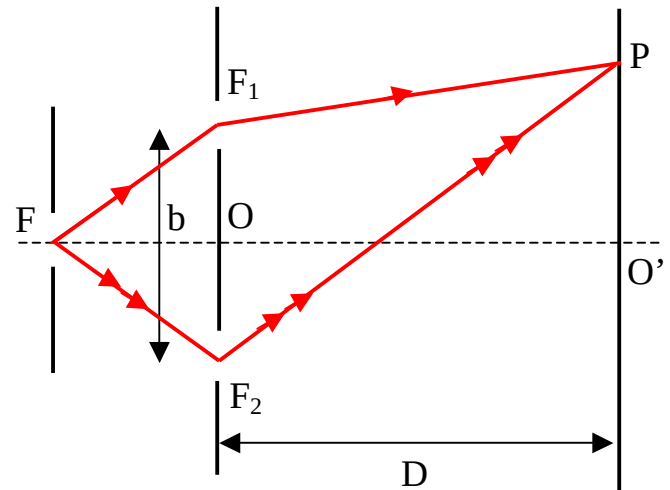


4) Interférences d'ondes lumineuses monochromatiques

Le cas des ondes lumineuses est particulier, car le mode d'émission de la lumière par une source ne permet pas de former plusieurs sources synchrones séparées. C'est pourquoi les interférences lumineuses sont créées en divisant l'onde émise par une seule source, de sorte qu'elle prenne deux trajets différents, créant ainsi une différence de marche.

Le dispositif des fentes d'Young permet d'y parvenir : un laser éclaire deux fentes parallèles F_1 et F_2 très fines, séparées d'une distance b faible (inférieure au millimètre)

Chaque fente diffracte la lumière. Un point de l'écran reçoit donc deux ondes, ayant traversé deux fentes différentes. L'écran montre donc la figure de diffraction donnée par une fente fine, avec des franges beaucoup plus fines à l'intérieur de celle-ci : ce sont des franges d'interférences.



Expérience des fentes d'Young

Les franges sont équidistantes, séparées d'une distance i appelée interfrange (i se mesure entre les milieux de 2 zones sombres consécutives). Plusieurs expériences permettent de montrer que l'interfrange augmente si :

- la distance D entre l'écran et les fentes augmente,
- la longueur d'onde λ de la source utilisée augmente,
- la distance b entre les fentes diminue.

Le dispositif des fentes d'Young donne des franges d'interférences rectilignes et équidistantes, séparées par un interfrange i avec

$$i = \lambda \times D / b$$

avec i , λ , D et b sont en m.

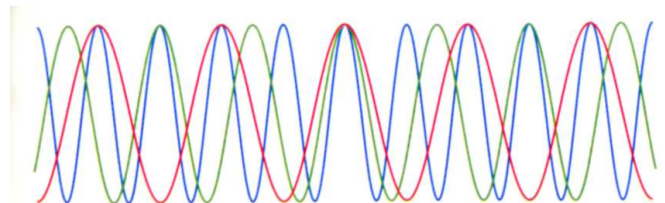


La mesure de l'interfrange i permet de déterminer la longueur d'onde λ de la lumière du laser.

5) Couleurs interférentielles

Si la source émet de la lumière blanche, seules quelques franges colorées sont observées au centre de la figure d'interférences : ce sont les couleurs interférentielles.

En effet, la source émet plusieurs radiations de longueurs d'onde différentes, correspondant à des figures d'interférences différentes, qui se superposent.



Les couleurs sont alors mélangées car les franges de différentes couleurs se brouillent.

La figure d'interférence ne présente qu'une frange blanche (frange centrale) et quelques franges irisées de part et d'autre.

Remarque : dans une bulle de savon, la lumière emprunte plusieurs trajets différents dans la membrane transparente, ce qui explique les couleurs interférentielles.

III) L'effet Doppler :

1) Présentation

Faire écouter le son d'une sirène se déplaçant.

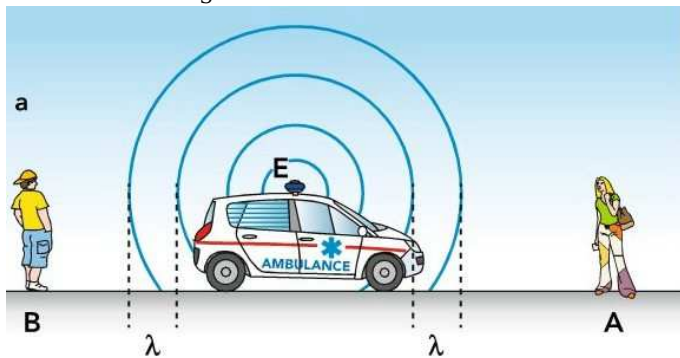
Le son d'un moteur ou d'une sirène est perçu plus aigu quand le véhicule qui l'émet s'approche de l'observateur et plus grave quand il s'en éloigne : c'est l'effet Doppler.

2) Vitesse relative de l'émetteur par rapport au récepteur

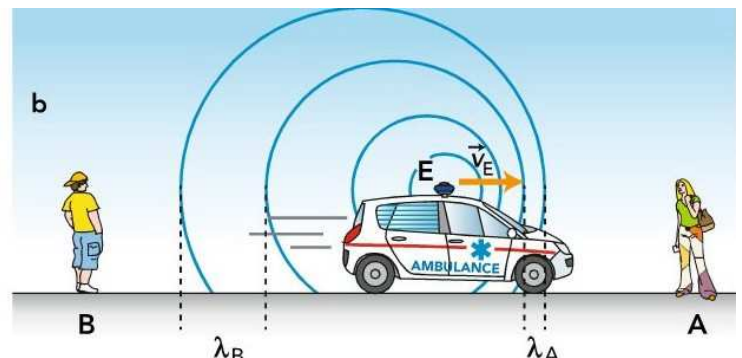
La comparaison entre la fréquence f_R de l'onde perçue par le récepteur et celle f_E émise par l'émetteur permet de déterminer la vitesse de l'émetteur par rapport au récepteur.

L'effet Doppler est donc une méthode de mesure de vitesse: c'est le principe des radars routiers.

Dans l'exemple choisi, l'émetteur E produit des ondes sonores de fréquence f_E qui se propagent à la vitesse v_S .



Si l'émetteur est immobile, les observateurs immobiles A et B perçoivent des ondes de même longueur d'onde : $\lambda = v_S / f_E$.



Si l'émetteur se déplace à la vitesse v_E en s'approchant de A et en s'éloignant de B, ceux perçoivent des ondes de longueurs d'onde $\lambda_A < \lambda$ et $\lambda_B > \lambda$.

Pourquoi lorsque l'émetteur s'approche de l'observateur le son de la sirène ou du moteur semble-t-il plus aigu ?

$\lambda = v_S / f \Rightarrow f = v_S / \lambda$. Pour A, $\lambda_A < \lambda$, $f_A > f_E$. Pour B, $\lambda_B > \lambda$, $f_B < f_E$.

La fréquence perçue est donc plus élevée quand le véhicule s'approche de l'observateur : le son paraît plus aigu.

De la même façon, le son paraît plus grave lorsque le véhicule s'éloigne.

Une étude détaillée du phénomène montre que l'on peut aboutir aux relations suivantes :

Pour l'observateur A, quand l'émetteur s'approche de A

$$v_E = v_S \times (f_A - f_E) / f_A$$

Pour l'observateur B, quand l'émetteur s'éloigne de B

$$v_E = v_S \times (f_E - f_B) / f_B$$

Ces relations permettent de calculer v_E à partir de la mesure de la fréquence perçue par l'observateur.

3) L'effet Doppler-Fizeau en astronomie

L'analyse du spectre de la lumière émise par un astre, permet de détecter un décalage en fréquence lorsque l'astre se déplace par rapport à la Terre.

On constate une augmentation de la fréquence des raies d'absorption (décalage vers le bleu) si l'astre se rapproche de la Terre et vers le rouge en cas d'éloignement.

1. Spectre d'une source immobile par rapport à l'observateur

2. Spectre obtenu avec une source s'éloignant de l'observateur

