

COMPORTEMENTS ONDULATOIRES**Compétences**

- Savoir que l'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la longueur d'onde aux dimension de l'ouverture ou de l'obstacle.
- Connaître et exploiter la relation $\theta = \lambda/a$
- Identifier les situations physiques où il est pertinent de prendre en compte le phénomène de diffraction.
- Connaître et exploiter les conditions d'interférences constructives et destructives pour des ondes monochromatiques
- Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses
- Utiliser des données spectrales et un logiciel de traitement d'images pour illustrer l'utilisation de l'effet Doppler comme moyen d'investigation en astrophysique

Compétences expérimentales

- Pratiquer une démarche expérimentale
 - visant à étudier ou utiliser le phénomène de diffraction dans le cas des ondes lumineuses.
 - visant à étudier quantitativement le phénomène d'interférence dans le cas des ondes lumineuses
- Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler

Plan

1- Diffraction

- 1.1- Phénomène de diffraction
- 1.2- Figure de diffraction
- 1.3- LA formule de diffraction
- 1.4- Intérêts de la diffraction
- 1.5- Précision de la mesure
- 1.6- Contraintes liées à la diffraction

2- Interférences

- 2.1- Conditions et figure d'interférences
- 2.2- Déphasage et différence de marche
- 2.3- Valeur de l'interfrange " i "
- 2.4- Couleurs interférentielles

3- Effet Doppler

- 3.1- Mouvement relatif d'un émetteur ou d'un réflecteur
- 3.2- Fréquence du signal enregistrée par le récepteur
- 3.3- L'effet Doppler lumineux en astronomie

1- Diffraction

TP Diffraction

1.1- Phénomène de diffraction

Une onde sinusoïdale se propage en ligne droite. Cependant, lorsque l'onde rencontre un obstacle dont ses dimensions sont proches de la longueur d'onde de l'onde, on observe un phénomène de diffraction.

L'objet diffractant peut être un trou (une porte ou un trou) ou bien un obstacle.

Le phénomène de diffraction s'observe autant avec tous les types d'ondes : ondes lumineuses ; ondes à la surface de l'eau, ondes sonores (à travers une porte...), avec les cils, les voilages ... en lumière blanche ...

1.2- Figure de diffraction

Lorsque l'obstacle (fil) ou la fente est verticale, la figure de diffraction est et inversement.

Schéma du montage

La distance entre le fil et le laser n'a pas d'importance, mais il vaut mieux choisir la plus petite distance possible pour avoir plus de place.

La distance entre le fil et l'écran : D doit être la plus grande possible afin d'avoir une tache centrale la plus grande et ainsi diminuer l'impact de l'incertitude de mesure sur la valeur de la tache centrale.

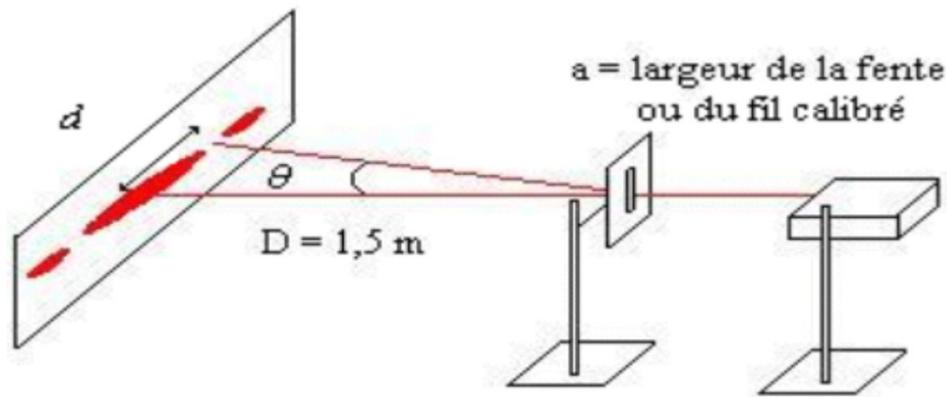
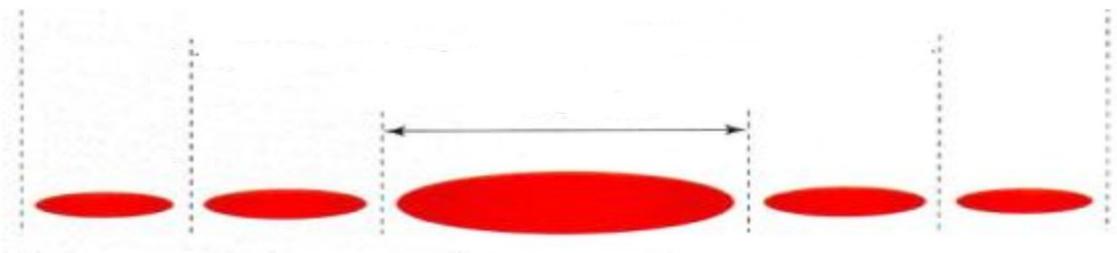


figure de diffraction.

C'est une alternance raies sombres et raies claires. La tache centrale est plus grande, les autres franges claires sont d'égale longueur.



En pratique on mesure la largeur l de la tache centrale à partir du milieu des deux franges sombres qui l'entourent.

On remarque que plus l'obstacle est fin, plus la tâche centrale est

Le TP vise à trouver la relation entre θ (largeur angulaire), λ (longueur d'onde) et a , la largeur de l'obstacle.

1.3- LA formule de diffraction

*** calcul de la largeur angulaire θ

par trigonométrie :

On remarque que θ est quasiment égal à $\tan(\theta)$, lorsque l'angle, exprimé en radian, est très petit. C'est le cas ici, D est de l'ordre du mètre, l de l'ordre du centimètre.

On retiendra que pour des angles inférieurs à 0,1 rad , on a $\tan(\theta) \approx \theta$

d'où $\tan(\theta) \approx \theta = \frac{l}{2D}$

*** à partir de l'expérience on fait le lien entre la largeur angulaire θ et la dimension a de l'obstacle :

courbe $\theta=f(a)$

on remarque une courbe qui ressemble

à la courbe de la fonction inverse. $f(x)=k \times \frac{1}{x}$

On trace donc $\theta=f(1/a)$.

On obtient :

Cela signifie que les grandeurs et sont proportionnelles.

On en déduit que la largeur angulaire (θ) et la taille de l'obstacle (a) sont inversement proportionnels, et l'expérience montre que ce coefficient de proportionnalité est



λ est la longueur d'onde

a est l'ouverture de la fente (ou taille de l'obstacle)

ils doivent être exprimés dans la même unité.

L'angle θ est exprimé en radian

on a donc d'une part $\theta = \frac{\lambda}{a}$ et d'autre part $\theta = \frac{l}{2D}$ soit $l =$

Rmq : l'angle dépend de la longueur d'onde : plus λ est petit (bleu) plus l'angle est petit.

Ex p76 n°8-15-20

1.4- Intérêts de la diffraction

Pouvoir mesurer avec précision la taille d'objets microscopique. Plus l'obstacle est petit, plus la dimension de la tache centrale est grande, et plus on peut être précis.

Application : avec un laser de longueur d'onde 650nm, la tâche de diffraction d'un cheveu observé à 2m est de 3,7cm quelle est la taille du cheveu ?

1.5- Précision de la mesure

Lorsque la tâche de diffraction est petite, de l'ordre du cm, la lecture avec un double décimètre engendre une erreur de + ou - 1mm.

Application : avec un laser de longueur d'onde 650nm, la tâche de diffraction d'un cheveu observé à 2m est de 3,7cm

1- Donner l'encadrement de la dimension du cheveu.

2- calculer l'erreur relative

1.6- Contraintes liées à la diffraction

La diffraction limite la capacité de stockage par exemple sur les supports numérique à lecture optique. Ainsi le laser rouge (650nm), le DVD impose un écart de 0,74 μ m entre deux pistes, avec un laser bleu (Blue-ray Disc), l'écart n'est plus que de 0,32 μ m.

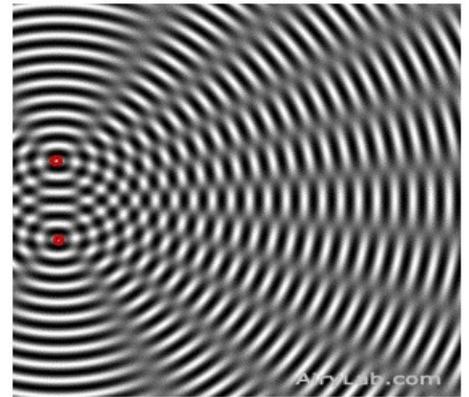
2- Interférences

COURBES DE MOIRÉ

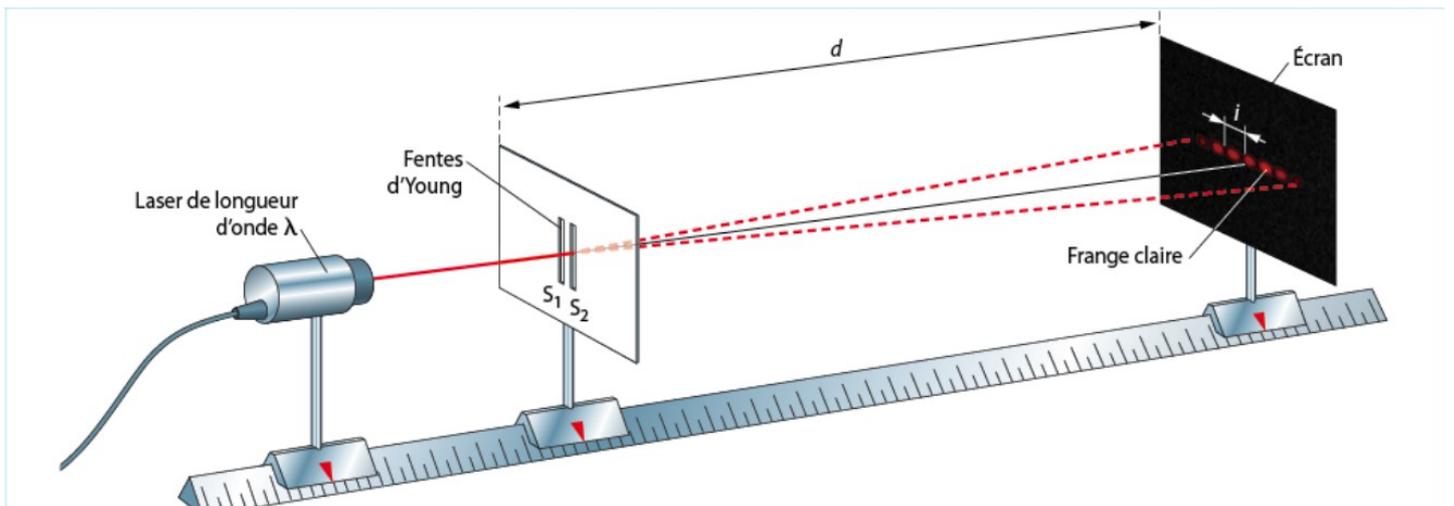
2.1- Conditions et figure d'interférences

Une figure d'interférences s'obtient avec des ondes de même fréquence f , avec une émission ininterrompue, se propageant dans le même milieu et avec la même phase à l'origine. Les ondes sont dites alors **synchrones** ou **cohérentes**.

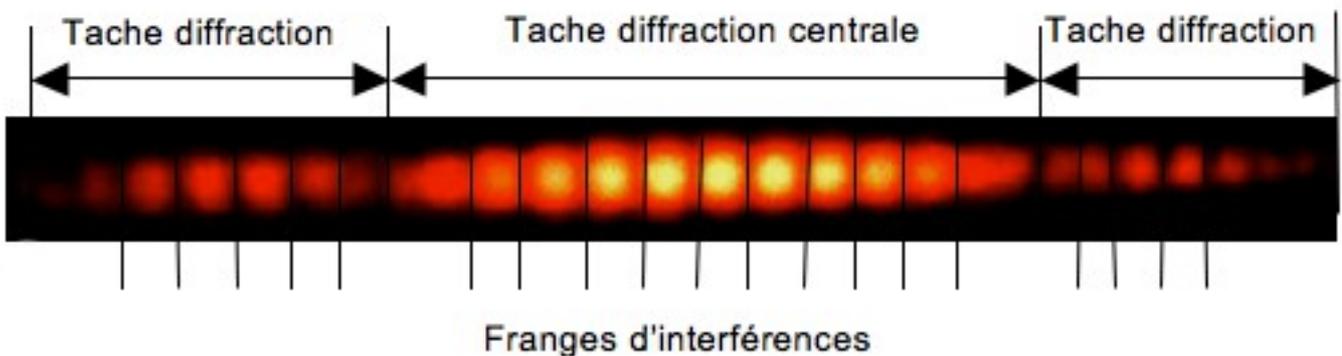
Source A
Source B



Le montage des fentes d'Young est obtenu à partir d'un laser monochromatique devant lequel on place une diapositive. Sur cette diapositive, deux traits très fins sont tracés, espacés d'une distance S_1S_2



La figure d'interférences obtenue est :



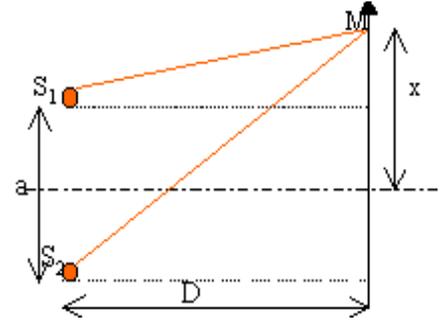
2.2- Déphasage et différence de marche

On considère deux ondes sinusoïdales, cohérentes donc même fréquence f et de même période T , se propageant dans le même milieu (donc à la même vitesse de propagation c).

Ces deux ondes partent en même temps de deux points différents, elles se rencontrent en un point M .

On appelle différence de marche δ la différence de chemin parcouru entre S_1M et S_2M . $\delta = S_2M - S_1M$.

Deux cas limites se présentent :



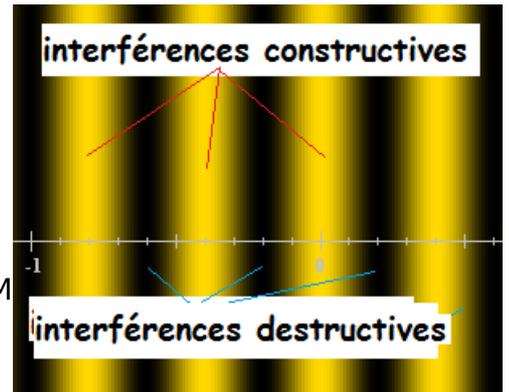
1- la différence δ est un multiple de

$$\delta = k \cdot \dots \text{ avec } k \text{ entier}$$

Cela signifie que les deux ondes arrivent au point M en

Les interférences sont dites

Le point M se situe sur une frange



2- la différence de marche $\delta =$

Cela signifie que les deux ondes arrivent au point M en.....

Les interférences sont dites

Le point M se situe sur une frange

Ex n°23p80

2.3- Valeur de l'interfrange " i "

Dans le cas des fentes d'Young, les franges d'interférences sont d'égale épaisseur.

Lors des **interférences lumineuses**, la distance séparant **deux milieux de zones d'ombres consécutives** (ou deux zones brillantes consécutives) est appelée **interfrange i**. La valeur de l'interfrange i vaut:

$$i = \frac{\lambda D}{S_1 S_2}$$

D : distance (m) entre les sources secondaires et l'écran

$S_1 S_2$: distance(m) entre les 2 sources secondaires

λ : longueur d'onde (m) de la radiation monochromatique

i : interfrange, distance (m) entre 2 milieux consécutifs de zones d'ombre.

Remarques :

i est à λ et à D

i est inversement proportionnel à $S_1 S_2$

Plus les sources sont rapprochées, plus l'interfrange est et donc " facile " à mesurer.

Ex n°16p80

2.4- Couleurs interférentielles

Que se passe-t-il en lumière blanche ? Irisation

Les franges sont constructives pour certaines longueurs d'onde, alors qu'elles sont destructives pour d'autres. Les couleurs apparaissant sur les bulles de savon ou sur les tâches d'huile sont dues à des interférences. Animation_Young

Facultatatif Ex n°30p82

3- Effet Doppler

3.1- Mouvement relatif d'un émetteur ou d'un réflecteur

C'est le camion de pompier qui passe...

Lorsque l'émetteur et le receveur sont immobiles l'un par rapport à l'autre, alors la fréquence de l'onde acoustique reçue par le récepteur est identique à celle émise par l'émetteur.

Lorsque l'émetteur et le récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre, la fréquence de l'onde acoustique reçue par l'émetteur est différente de celle émise par l'émetteur. C'est l'effet **Doppler**.

Lorsque l'émetteur et le récepteur se rapprochent, la fréquence reçue est plus Le son est plus aigu. Lorsque l'émetteur et le récepteur s'éloignent, la fréquence reçue est plus La hauteur du son est plus basse (le son est plus). Cette modification de fréquence dépend de la vitesse de l'émetteur par rapport au récepteur.

3.2- Fréquence du signal enregistrée par le récepteur

On se place donc dans le référentiel du récepteur : il est donc immobile.

Soit c la célérité de l'onde. Soit \vec{v}_{er} la vitesse relative de l'émetteur par rapport au récepteur.

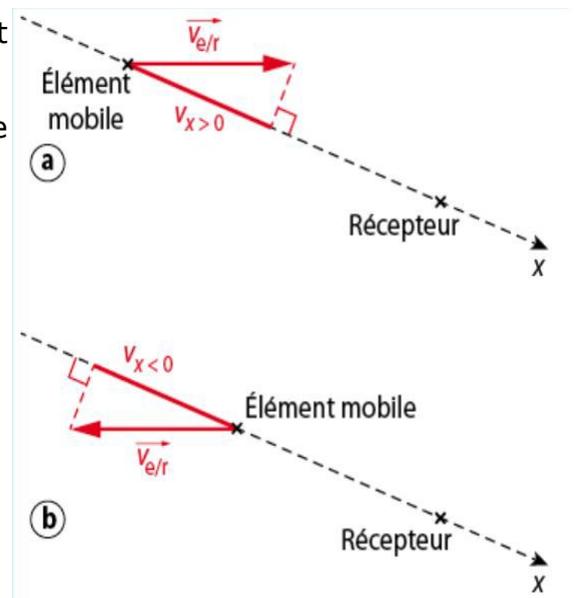
On appelle v_x la composante radiale de \vec{v}_{er}

- Si l'émetteur se rapproche, alors $v_x > 0$
- Si l'émetteur s'éloigne du récepteur alors $v_x < 0$



Application : Calculer la fréquence reçue, avec un émetteur émettant à 440Hz se rapprochant du récepteur à la vitesse $v=2m/s$.

Puis en s'éloignant.



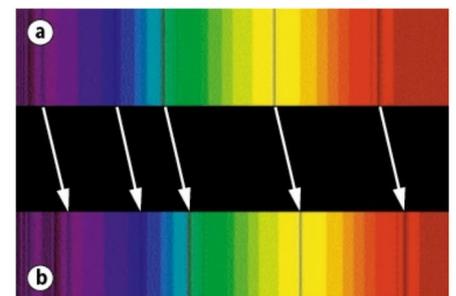
Ex n°13-26 p76

3.3- L'effet Doppler lumineux en astronomie

L'effet Doppler s'observe aussi avec les ondes lumineuses, pour des rayonnements émis par une étoile en mouvement. C'est l'effet **Doppler-Fizeau**. On sait que le spectre émis par une étoile comporte des raies d'absorption dues à la présence de gaz dans son atmosphère.

Quand l'étoile s'éloigne de la terre, la fréquence reçue par la Terre diminue, donc la longueur d'onde augmente ($\lambda = c/f$) et on observe un décalage vers le rouge.

Comme l'Univers est en **expansion**, il y a sur Terre un décalage **vers le rouge** des radiations émises par les étoiles qui s'éloignent de nous.



16 Spectres d'absorption d'une même entité présente dans : (a) le Soleil ; (b) une nébuleuse lointaine. Les raies de la nébuleuse lointaine sont décalées vers le rouge: la nébuleuse s'éloigne.

Ex n°29 p82