Introduction à l'optique ondulatoire

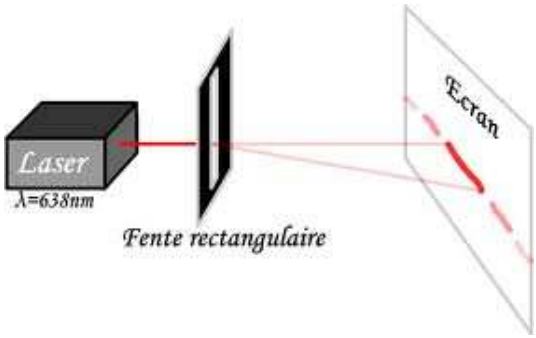
I. **Optique géométrique ou optique ondulatoire**

L'optique géométrique repose sur deux principes.

♡ Premier principe de l'optique géométrique: les rayons lumineux se propagent en ligne droite dans un milieu homogène.

Exemples:

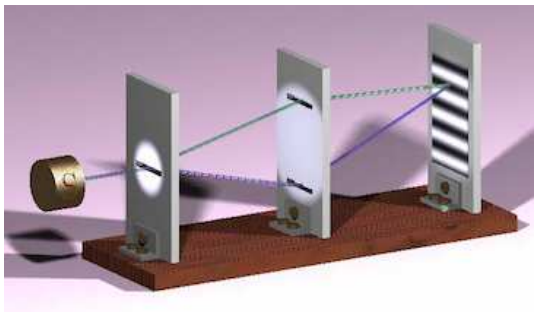
Et pourtant lorsqu'un faisceau laser traverse un diaphragme...



♡ Second principe de l'optique géométrique: les rayons lumineux se coupent indépendamment les uns des autres.

Exemple: dans une pièce j'allume deux lampes de même intensité, j'ai deux fois plus de lumière.

Et pourtant, lorsqu'un faisceau incident traverse deux diaphragmes...



♡ Conclusion : optique géométrique ou optique ondulatoire ?

C'est une histoire d'échelle : il y a deux longueurs à comparer pour savoir si les lois de l'optique géométrique s'appliquent ou ne s'appliquent pas:

- longueur d'onde λ

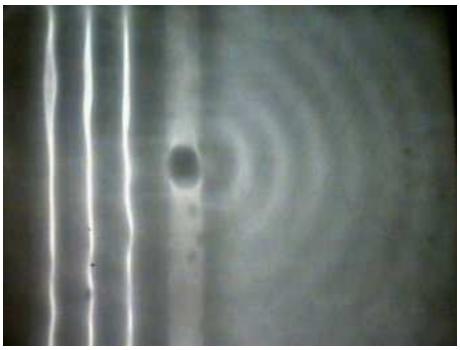
- taille caractéristique du système d (largeur d'une fente, diamètre d'un diaphragme,distance entre deux fentes...)

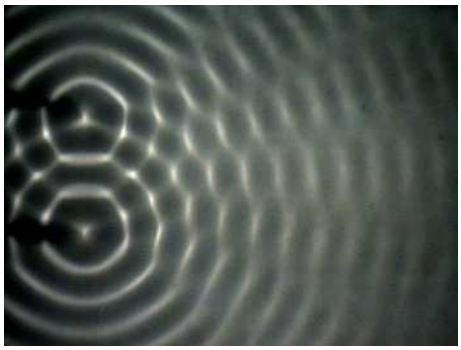
Pour $d >> \lambda$:

Pour d voisin de λ :

C'est aussi le cas pour les ondes mécaniques:

Dans l'expérience de la cuve à ondes, les zones claires et les zones sombres correspondent à des hauteurs d'eau différentes.

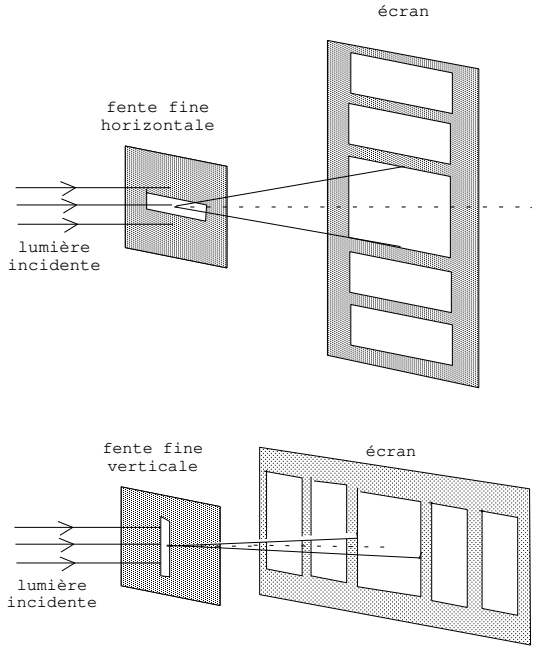




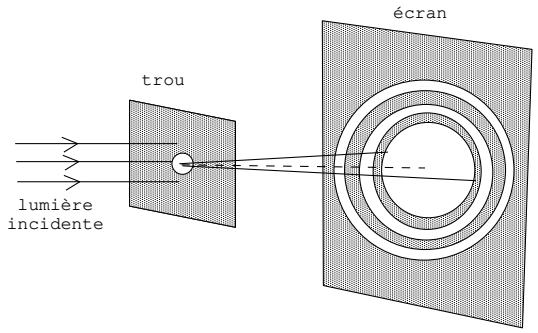
.

II. **A savoir pour la diffraction**

Largeur angulaire de la tache de diffraction par une fente fine: une fente fine est une fente dont une dimension est beaucoup plus petite que l'autre. La diffraction ne se produit que dans la direction de la .....

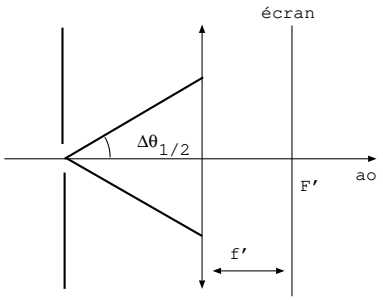


Largeur angulaire de la tache de diffraction par un trou (diaphragme circulaire):

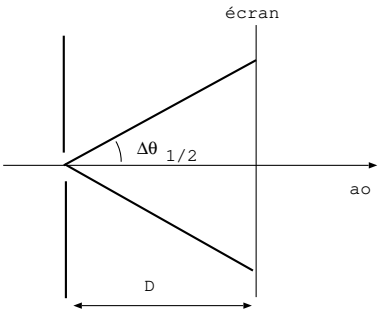


Largeur de la tache de diffraction sur un écran placé très loin des objets diffractants ou placé dans le plan focal d'une lentille:

Observation dans le plan focal image d'une lentille



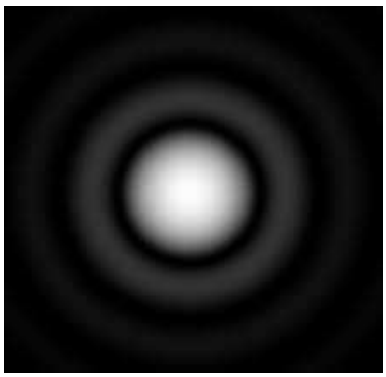
Observation sur un écran lointain

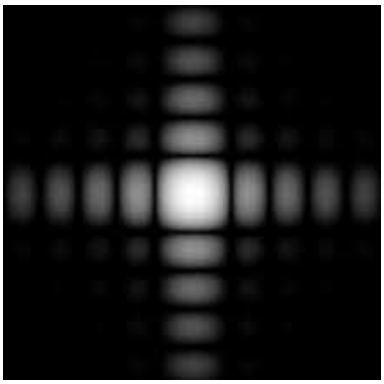


.

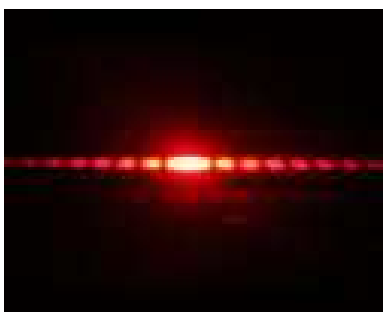
Exercices : pour chacune des photos suivantes préciser la forme et la taille de l'objet diffractant (trou, fente...) pour $\lambda = 632\ nm$.

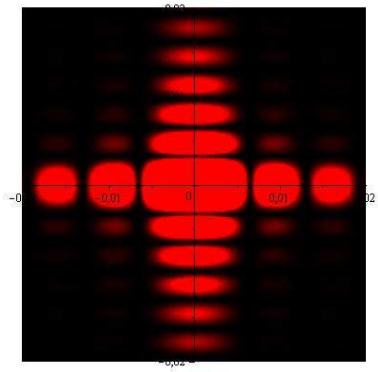
On observe sur un écran placé dans le plan focal d'une lentille de focale image $f' = 60\ cm$.





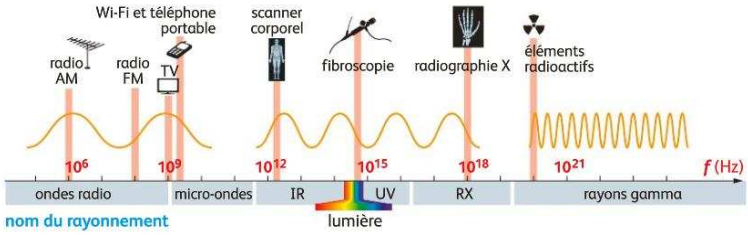
On observe sur un écran placé à une distance $D = 1,2\ m$ de l'objet diffractant





III. **Les interférences**

1. Propriétés de la lumière.



La lumière est une onde dont la perturbation est le champ électromagnétique (un champ électrique et un champ magnétique couplés qui transportent de l'énergie).

La vitesse de propagation de la lumière est $V = \dfrac{c}{n}$

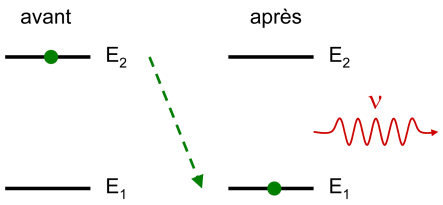
où n est l'indice du milieu ($n_{eau} = 1,33$ et $n_{verre} = 1,5 - 1,7$ dépend de la longueur d'onde selon la loi de Cauchy $n(\lambda) = A + \dfrac{B}{\lambda^2}$)

où c est

La lumière est caractérisée par une période spatiale ..... et une période temporelle ..... liée entre elles par .....

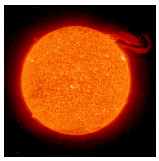
Lors d'un changement de milieu, **la fréquence est conservée**, la longueur d'onde est modifiée.

2. Les émetteurs



L'atome émet des trains d'onde de fréquence centrale ν pendant un temps moyen τ. L'intervalle de temps entre deux trains d'onde consécutifs est de l'ordre de grandeur de τ.

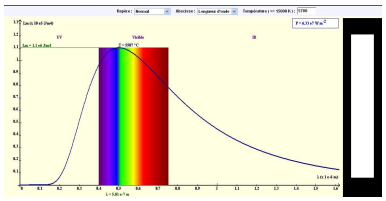
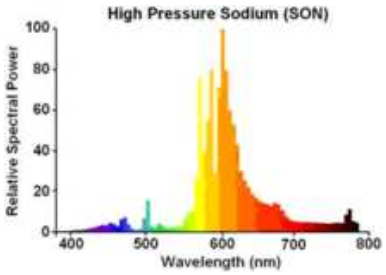
La durée d'émission d'un train d'onde notée τ et la longueur d'un train d'onde appelé longueur de cohérence et noté l_c, dépendent de l'émetteur:

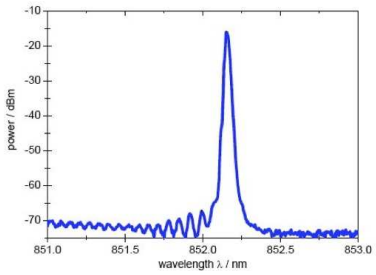


$\tau \simeq 2.10^{-15}\ s$ $\tau \simeq 10^{-12}\ s$ $\tau \simeq 10^{-9}\ s$

.

Lien entre la durée d'un train d'onde et le spectre d'émission de l'émetteur:



.

Grandeurs caractéristiques d'un émetteur et relations entre ces grandeurs:

λ

f ou ν

τ

l_c

Δf ou $\Delta \nu$

$\Delta \lambda$

Relation entre f et λ:

Relation entre τ et l_c:

Relation entre τ et Δf:

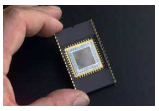
Relation entre Δf et $\Delta\lambda$:

3. Les récepteurs

Ils sont sensibles:

- Au carré de l'amplitude de l'onde : c'est l'intensité aussi appelée éclairement

- A l'intensité moyenne dans le temps car leur temps de réponse est très grand devant la période de l'onde. En effet le temps de réponse de l'oeil est de $0,1\ s$ et celui d'une photodiode est de $1\ ms$ alors que la période d'une onde lumineuse est de l'ordre de $10^{-15}\ s$.



On note donc:

$s(M,t)$:

$I(M) =$

Remarque 1: on verra dans le cours d'électromagnétisme que le signal $s(M,t)$ est la norme du champ électrique transporté par l'onde et que l'intensité lumineuse est la valeur moyenne du vecteur de Poynting, son unité est le $W.m^{-2}$ (c'est la même unité que celle de l'intensité acoustique).

Remarque 2: $< \cos^2(\omega t + \phi) >=$

4. Conditions d'obtention des interférences

Deux ondes lumineuses *de même fréquence* qui se rencontrent en M *peuvent donner lieu à des interférences* qui se manifestent par la présence d'un alternance de franges brillantes et de franges sombres.

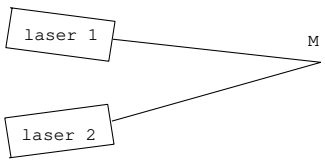
Les franges brillantes viennent de la superposition de deux ondes en

Les franges sombres viennent de la superposition de deux ondes en

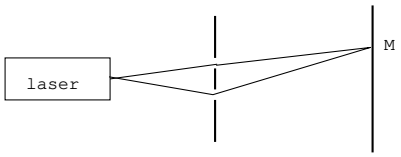
Lorsque le déphasage entre les deux ondes ne correspond ni à une phase nulle, ni à une opposition de phase, la superposition des ondes donne une frange grise.

Mais deux ondes lumineuses qui se rencontrent en M ne donnent pas toujours lieu à des interférences. Il nous faut donc nous questionner sur les conditions expérimentales qui permettent l'obtention d'interférences ou non.

Montage 1

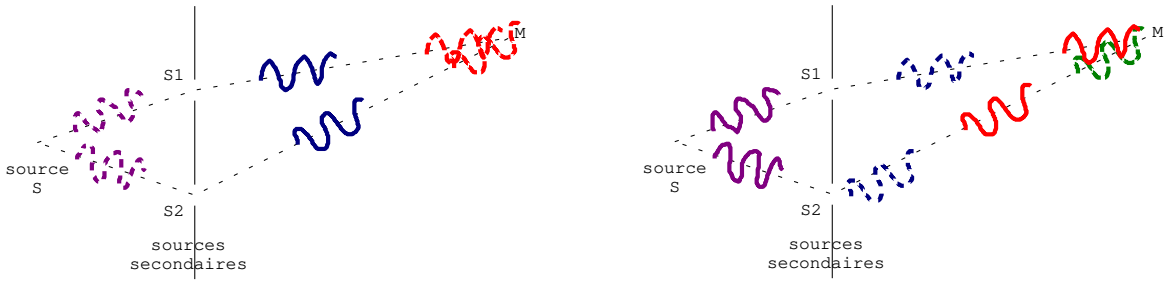


Montage 2



On vient donc d'apprendre que pour réaliser des interférences il faut

Il y a cependant une autre condition. Pour la comprendre, regardons les trains d'onde émis d'un peu plus près. Deux situations peuvent se produire:



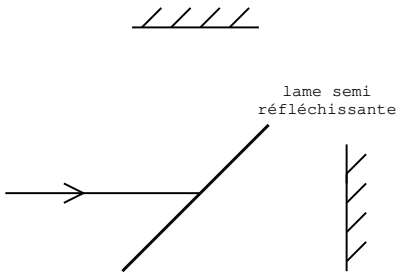
.

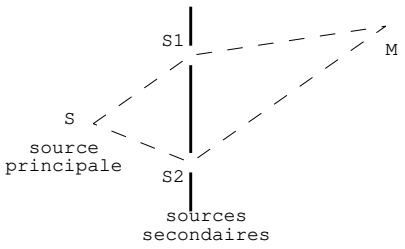
5. Conclusion:

Pour observer des interférences, il faut vérifier les conditions suivantes:

- Une seule source principale S monochromatique (une seule longueur d'onde, une seule fréquence, une seule période)

- Au moins deux sources secondaires S_1 et S_2 images de S (obtenues par un dispositif d'optique géométrique par division du front d'onde ou par division d'amplitude)





- La différence de marche $\delta_{2/1}(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$ doit être inférieure à la longueur de cohérence l_c de la source : condition pour que les trains d'onde émis par le même atome se rencontrent.

On parle dans ce cas de sources cohérentes.

Lorsque les sources sont cohérentes : on somme les amplitudes des ondes en M et on en déduit l'intensité (c'est la valeur moyenne du carré de l'amplitude) soit $I(M) =$

Un maximum d'intensité correspond à une frange brillante et un minimum d'intensité à une frange sombre

Lorsque les sources ne sont pas cohérentes : l'intensité résultante en M est égal à la somme des intensités des deux sources en M soit $I(M) =$

IV. **Du concret...**

1. Les applications

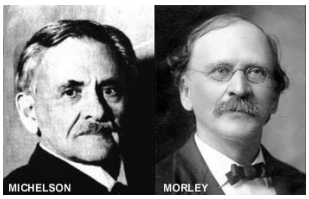
Les applications des interférences sont par exemple:

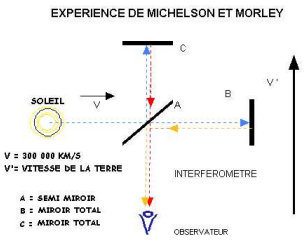
- En astronomie : mesures de la taille d'objets ou de la distance qui sépare deux objets lointains

- En spectrométrie : obtention de spectres de sources lumineuses

- En optique : détection de défauts de surfaces en verre pour les corriger

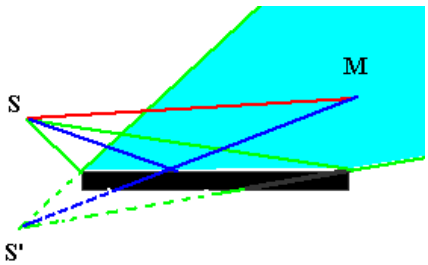
Du point de vue historique, on peut citer l'expérience de Michelson et Morley réalisée en 1887 : ces physiciens ont montré que vitesse de la lumière est isotrope et indépendante du référentiel.

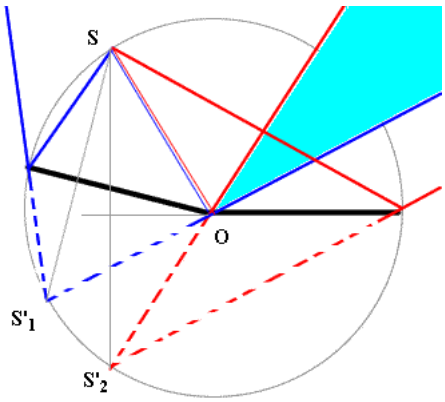


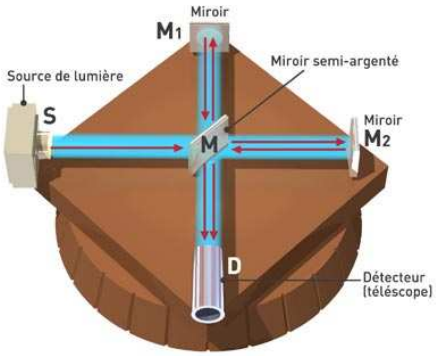


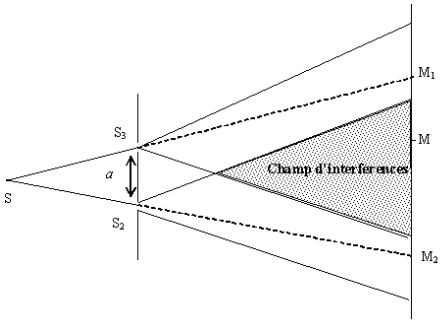
2. Les disposififs

Les dispositifs existants que nous étudierons sont:









Les points communs à ces dispositifs sont:

- Une source principale S

- Deux sources secondaires S_1 et S_2

- Deux ondes qui ont parcouru des chemins différents et qui se rencontrent dans le champ d'interférences

- Observations : alternance de zones lumineuses et de zones sombres appelées franges brillantes et franges sombres (rectilignes ou circulaires suivants les dispositifs interférentiels).