

Chap OO1: introduction à l'optique ondulatoire

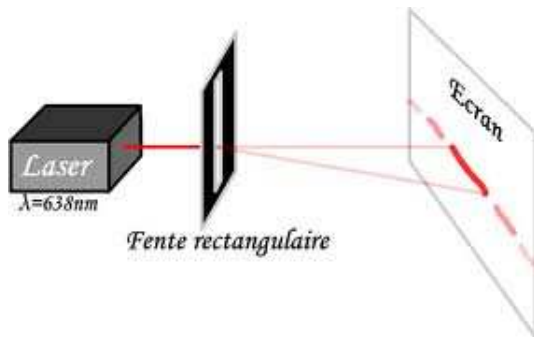
I. Optique géométrique ou optique ondulatoire

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:

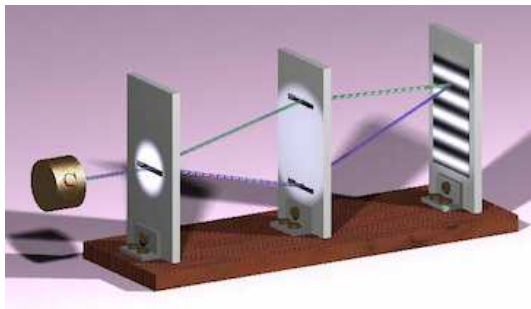
Et pourtant lorsqu'un faisceau laser traverse un diaphragme...



♡ 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:

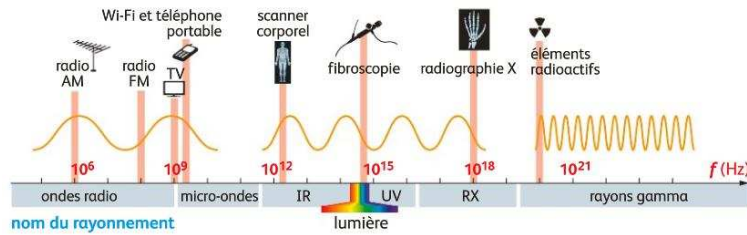
- longueur d'onde λ
- taille caractéristique du système d (largeur d'une fente, diamètre d'un diaphragme, distance entre deux fentes...)

Pour $d \gg \lambda$:

Pour d voisin de λ :

II. Approche ondulatoire de la lumière

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



La vitesse de propagation de la lumière est $v = \frac{c}{n}$

où c est

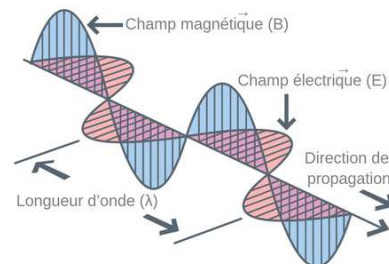
où n est l'indice du milieu ($n_{eau} = 1,33$ et $n_{verre} = 1,5 - 1,7$ dépend de la longueur d'onde selon la loi de Cauchy $n_{verre}(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$)

L'onde lumineuse est donc 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.

1. L'amplitude de l'onde lumineuse

La lumière est une onde dont la perturbation est le champ électromagnétique, ce qui signifie que cette onde est caractérisée en toute rigueur par le couple $(\vec{E}(M, t), \vec{B}(M, t))$.



Pour l'étude des interférences et de la diffraction, on utilise le modèle scalaire des ondes lumineuses. Ce modèle consiste à réduire l'onde à une seule des composantes du champ électrique, cette composante est une grandeur scalaire que l'on écrit: $s(M, t) = s_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{OM})$.

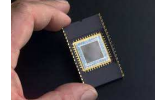
$\omega =$

$\vec{k} =$

2. L'intensité lumineuse



Temps de réponse: 0,1 s



Temps de réponse: $qqs\ ms$

Les récepteurs (comme notre oeil, une caméra CCD,...) sont sensibles:

- Au carré de l'amplitude de l'onde : c'est l'intensité aussi appelée éclairement. L'intensité en M à l'instante t est: $I(M, t) = K s^2(M, t)$
- A l'intensité moyenne dans le temps. Les temps de réponse des récepteurs sont très grands devant la période d'une onde lumineuse (de l'ordre de $10^{-15}\ s$). Donc les récepteurs n'ont pas le temps de suivre les oscillations de l'onde lumineuse, ils ne sont sensibles qu'à la valeur moyenne de l'onde lumineuse au cours du temps.

On note donc:

$s(M, t)$:

$I(M) =$

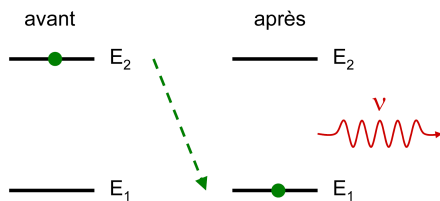
Remarque 1: on verra dans le cours d'électromagnétisme que le signal $s(M, t)$ est une composante du champ électrique transporté par l'onde et que l'intensité lumineuse est la valeur moyenne du vecteur de Poynting, son unité est le $W.m^{-2}$ (c'est la même unité que celle de l'intensité acoustique).

Remarque 2: $\langle \cos^2(\omega t + \phi) \rangle =$

III. Les sources lumineuses

Pour comprendre les conditions d'obtentions d'interférences, il est important de comprendre les caractéristiques de la lumière émise par différents émetteurs tels que le laser, les lampes à vapeur de sodium, les lampes de lumière blanche.

1. Notion de train d'onde



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 .

2. Temps et longueur de cohérence d'une source

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:



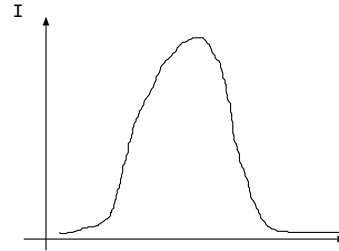
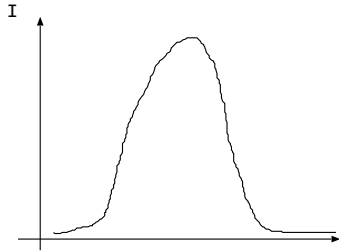
$$\tau \simeq 2.10^{-15} \text{ s}$$

$$\tau \simeq 10^{-12} \text{ s}$$

$$\tau \simeq 10^{-9} \text{ s}$$

.

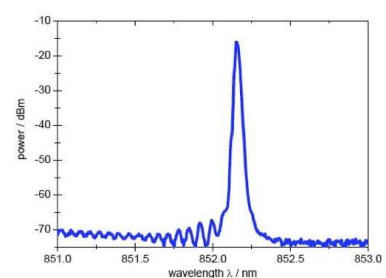
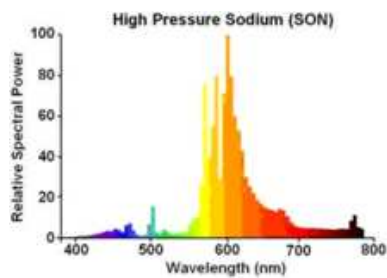
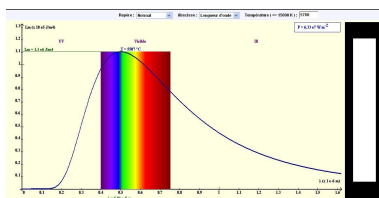
3. Notion de spectre et grandeurs caractéristiques d'un émetteur



.

Relation entre f_0 et λ_0 :

Relation entre τ et Δf :



.

Relation entre Δf et $\Delta \lambda$:

IV. Conditions d'obtention des interférences

On ne peut faire des interférences qu'avec deux trains d'onde dont le déphasage en M est constant au cours du temps. Prenons l'exemple des deux cas extrêmes:

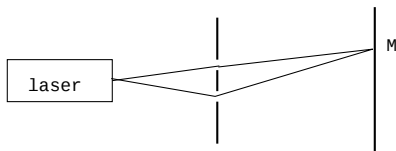
Quand ce déphasage est nul:

Quand ce déphasage vaut π :

Pour que le déphasage entre les deux ondes soit constant au cours du temps, il faut:

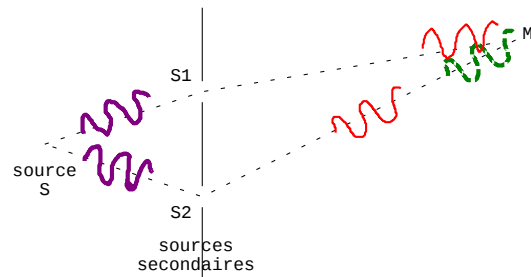
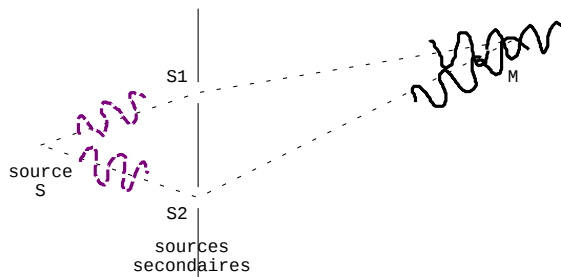
- des trains d'onde de même fréquence: ces ondes sont dites
- des trains d'onde qui viennent d'un même atome et parcourent des chemins différents.

Un source unique et monochromatique



On définit la différence de marche par:

- Une différence de marche pas trop grande:



V. Conclusion: sources cohérentes

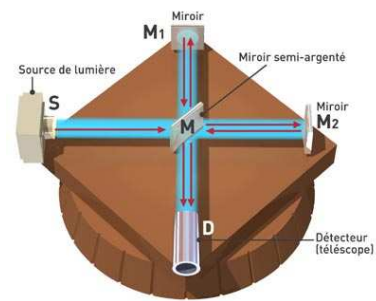
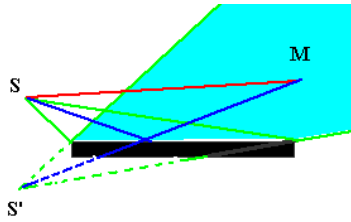
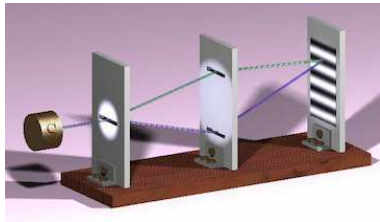
1. Deux sources cohérentes

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**.

Les dispositifs d'optique géométrique par division du front d'onde ou par division d'amplitude sont:



2. Intensité lumineuse en présence de deux sources cohérentes

Lorsque deux sources d'intensité I_1 et I_2 sont cohérentes et qu'elles se superposent en M . L'intensité en M se trouve en écrivant:

Remarque: Lorsque deux sources d'intensité I_1 et I_2 ne sont pas cohérentes et qu'elles se superposent en M . L'intensité en M s'écrit: