

Première partie

Modèle scalaire des ondes lumineuses

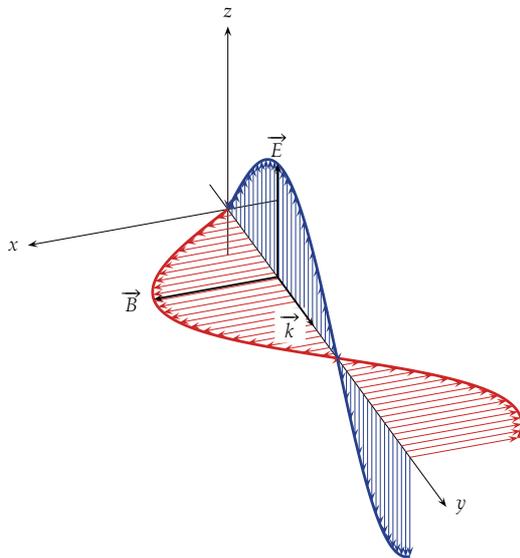
Remarque: On se place dans le cadre de l'optique géométrique

I. Modèle de propagation

1. Aspect ondulatoire

Notion d'onde électromagnétique

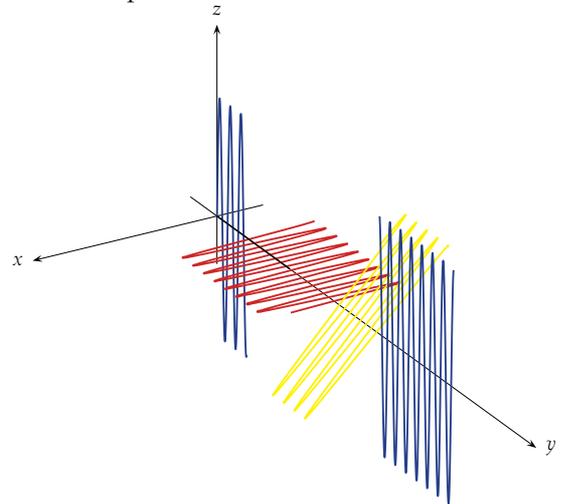
On considère une onde transversale se propageant selon la direction Oy . On obtient alors un couple (\vec{E}, \vec{B}) associé à cette onde.



Cette onde a une polarisation rectiligne : le champ \vec{E} associé à l'onde a toujours la même direction.

Source lumineuse

On considère une source lumineuse monochromatique (de fréquence donc de couleur "unique"), constituée en fait d'une grande quantité "d'émetteurs" correspondant aux particules. On observe donc une succession de trains d'ondes, avec différents états de polarisation.



On s'aperçoit que l'on ne peut pas définir de direction de polarisation de l'onde, cette caractéristique changeant à chaque train d'onde.

Il sera donc judicieux de caractériser l'onde par une grandeur scalaire.

vibration lumineuse

La vibration lumineuse $s(M, t)$ est une grandeur scalaire associée au champ électrique caractérisant l'onde lumineuse

2. Longueur d'onde dans le vide

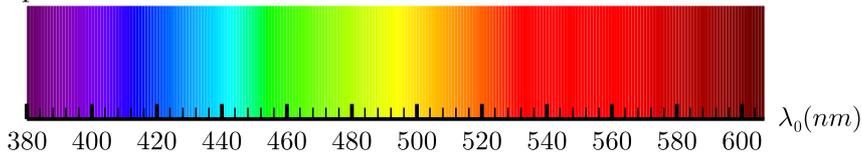
Longueur d'onde dans le vide

La vibration lumineuse se propageant à la vitesse $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ dans le vide, la longueur d'onde λ_0 associée à cette vibration a pour expression

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu}$$

Remarque: Longueur d'onde : distance au bout de laquelle on retrouve l'état de vibration identique, à un instant t

Spectre de la lumière :



a. Milieu de propagation

On considère une vibration de fréquence ν

indice du milieu

Dans un milieu transparent linéaire et isotrope d'indice n , la vibration, de longueur d'onde λ_0 dans le vide, se propage dans le milieu à une vitesse v telle que

$$n(\lambda_0) = \frac{c}{v}$$

Selon la loi empirique de Cauchy, $n(\lambda_0) = A + \frac{B}{\lambda_0^2}$ avec A et B constantes

3. Propagation et retard de phase

a. Retard de propagation

On perçoit en un point M l'état de vibration émis par la source à un instant antérieur. Autrement dit, l'état de la vibration met une durée τ pour se propager de la source jusqu'au point M

$$s(M, t) = s(S, (t - \tau))$$

Une source monochromatique sera caractérisée par la vibration lumineuse au niveau de la source

$$s(S, t) = S_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Elle engendre en un point M de l'espace une vibration

$$s(M, t) = S_0 \cdot \cos(\omega(t - \tau) + \varphi_0)$$

b. Chemin optique

On s'aperçoit que le retard de propagation dépend bien sur de la distance de propagation, mais également de l'indice du milieu. On peut alors définir un terme prenant en compte ces deux caractéristiques

i. Propagation dans un milieu homogène

Chemin optique

Le chemin optique (AB) entre les points A et B correspond à la distance qu'aurait parcouru l'onde dans le vide pendant la durée mise réellement par l'onde pour parcourir le chemin AB dans le milieu.

$$(AB) = \int_{P \in \Gamma} n(P) \cdot dl$$

avec Γ le chemin parcouru

$$(AB) = n \cdot AB$$

Remarque: Le chemin optique correspond à la distance qu'aurait parcouru l'onde pendant une même durée, dans le vide

c. Retard de phase

Vibration en M

La vibration de l'onde lumineuse en M s'écrit

$$\underline{s}(M, t) = \underline{s}(S, t) \cdot e^{-i(\varphi_{SM})} \text{ avec } \varphi_{SM} = \omega \cdot \tau = \frac{2 \cdot \pi \cdot (AB)}{\lambda_0}$$

4. Surfaces d'onde

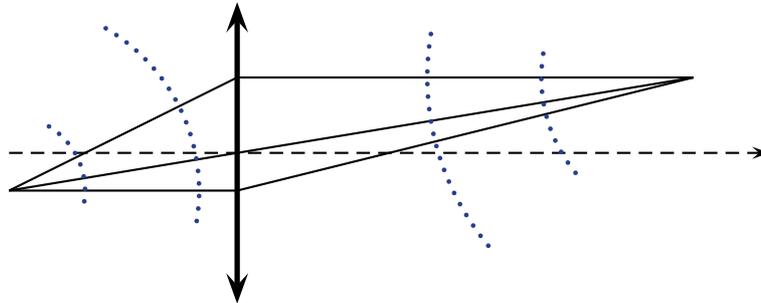
Surface d'onde

La surface d'onde correspond à l'ensemble des points de l'espace séparés du même chemin optique de la source.

Théorème de Malus

Les surfaces d'ondes sont orthogonales en tout point aux rayons lumineux issus d'une même source (n'ayant pas subi de phénomène de diffraction)

5. Formation des images



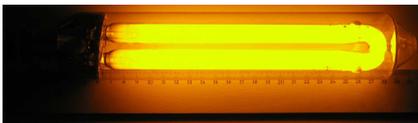
Deux définitions d'une image

On voit donc deux approches différentes permettant de définir une image d'un objet ponctuel par un système optique :

- ✓ Pour une onde incidente sphérique, les surfaces d'ondes à la sortie du système optique sont des sphères dont le centre caractérise l'image de l'objet par le système optique
- ✓ L'image correspond au point d'intersection de tous les rayons lumineux issus de la source.

II. Sources lumineuses

1. Lampe spectrale basse pression



i. Principe de fonctionnement

Une lampe à décharge est constituée d'un tube ou d'une ampoule en verre remplie de gaz ou de vapeur métallique, sous haute ou basse pression.

- ✓ On impose une forte différence de potentiel entre les deux électrodes
On arrive ainsi à ioniser des atomes du gaz contenu dans l'ampoule. Les électrons ainsi libérés vont se diriger vers l'électrode de potentiel le plus élevé (la cathode). On crée ainsi un flux d'électrons.

- ✓ Lors du passage de ce flux, se produisent de nombreuses collisions entre les électrons circulants et ceux présents dans le gaz de la lampe. Lors de ces collisions, les électrons sont chassés de leur orbite, changent de couche et y reviennent en émettant un photon, dont la longueur d'onde (sa couleur) dépend de l'énergie qu'il contient mais habituellement comprise dans le spectre du visible ou de l'ultraviolet. Ils peuvent également se libérer complètement de l'atome qui les contient, et ainsi accroître le flux d'électrons. C'est ainsi qu'un phénomène d'amorçage se produit à la mise sous tension de la lampe : le courant initialement très faible explose littéralement pour atteindre la puissance maximale donnée par le générateur électrique.

ii. Exemple de lampes à décharge

- ✓ Les tubes fluorescents :
On les nomme couramment néons. En fait la lumière émise par la décharge n'est pas directement visible. C'est une poudre déposée sur la surface intérieure du tube qui ré-émet dans le domaine visible.
- ✓ Lampes à vapeur de sodium basse pression :
Ce type de lampe est le type de lampe à décharge le plus efficace, mais aux dépens d'un rendu de couleurs très pauvre. La lumière jaune quasi monochromatique réduit son utilisation à l'éclairage public.

2. Sources thermiques

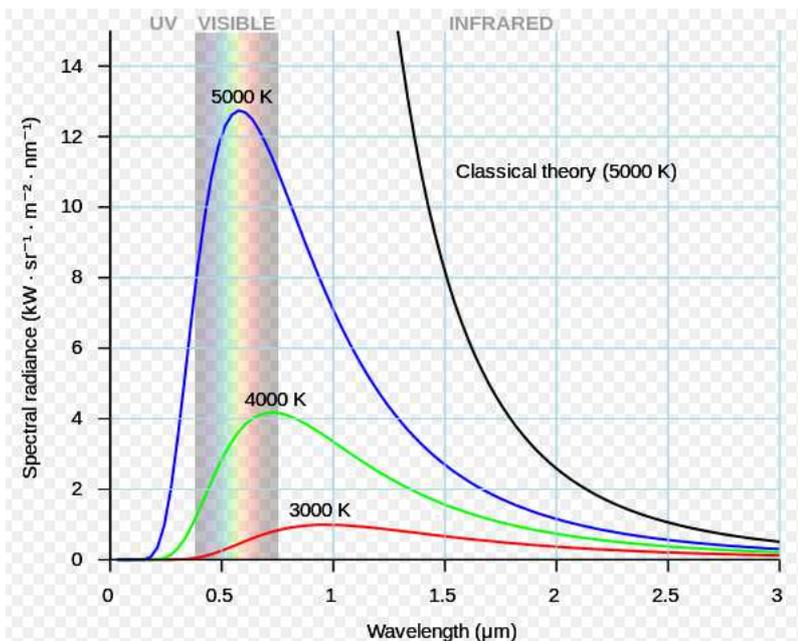
i. Principe d'émission

Le modèle appliqué à un solide amené à haute température correspond au modèle du corps noir.

On peut imaginer le solide comme une cavité à l'intérieur de laquelle les atomes sont soumis à une agitation thermique.

Bien qu'il y ait une quantification de l'énergie émise par ce corps noir, on peut considérer son spectre comme continu.

Le corps noir va émettre avec une intensité maximum décrite par la loi de Wien : $\lambda_{Max} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{T}$



3. L.A.S.E.R

Il s'agit de l'acronyme de

i. Principe d'émission

Vidéo: Principe Général de l'émission L.A.S.E.R

(source : http://youtu.be/UDxdq_ogqR8)

Vidéo: Détail du processus d'émission stimulée

(source : <http://youtu.be/zFYFuxVk4Ro>)

On obtient donc grâce à ce dispositif :

- ✓ Des photons émis d'une énergie toujours identique
- ✓ Une émission régulière correspondant à des trains d'onde de très grande longueur.

4. Bilan

On pourra retenir les ordres de grandeur

	Lampe spectrale basse pression	lumière blanche	L.A.S.E.R.
largeur spectrale	nm	$0,5 \mu m$	$10 pm$
longueur de cohérence			

III. Récepteurs d'intensité

1. Flux lumineux

Petit retour su un autre phénomène ondulatoire :

Prenons l'exemple des ondes sonores. Attention celles-ci sont longitudinales alors que la vibration associée à l'onde lumineuse est transversale. Elles nécessitent un support matériel de propagation alors que la lumière se propage dans le vide. Mais ce sont des ondes et certaines analogies peuvent être observées.

Si l'on observe deux haut-parleur, l'un pour les basses l'autre pour les aigus, on remarque que l'amplitude de vibration de la membrane pour les basses est beaucoup plus importante que celle pour les aigus, et ce ci pour une perception sonore équivalente.

Il n'y a donc pas a priori de relation de proportionnalité entre l'amplitude de vibration associée à une onde et la puissance transportée par celle-ci.

Or les différents capteurs sont tous sensibles à la puissance associée au phénomène mesuré.

La grandeur mesurée par un capteur lumineux ne sera donc pas proportionnelle à la vibration lumineuse $s(t)$.

On l'expliquera plus en détail lors de l'étude des ondes électromagnétiques. Le résultat suivant sera pour l'instant admis.

Flux lumineux

Un faisceau de lumière de section S et de vibration lumineuse $s(t)$ a une puissance, nommée également flux lumineux :

$$\Phi(M, t) = \alpha \cdot s^2(t)$$

$$\Phi(t) = \alpha \cdot S_0 \cdot \cos^2(\omega t) = \alpha \cdot \frac{1 + \cos(2 \cdot \omega \cdot t)}{2}$$

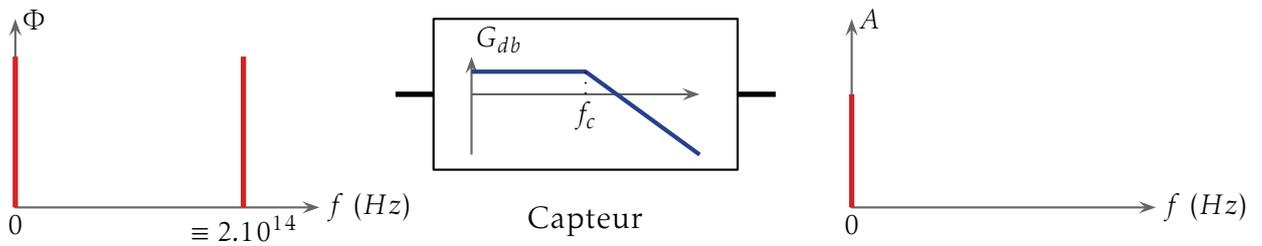
2. Capteur optique

Principe du capteur

Un capteur optique est un système de conversion de puissance lumineuse Φ en une grandeur (le plus souvent une intensité électrique) A

Ce capteur se comporte comme un filtre passe-bas du premier ordre avec une fréquence de coupure f_c

Les capteurs actuellement sur le marché vérifient tous $f_c < 10^{10} Hz$



Sensibilité du capteur

Le capteur n'est sensible qu'à la valeur moyenne du flux lumineux

$$A = k \cdot \langle s^2(t) \rangle$$

On définit la sensibilité du capteur comme étant le gain de la fonction de transfert

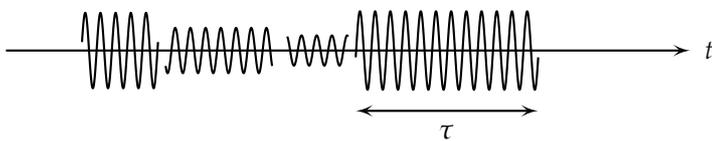
$$S = \frac{A}{\Phi_{moy}}$$

IV. Cohérence des sources

Vu d'un point *M*, cette vibration peut être modélisée sous deux aspects

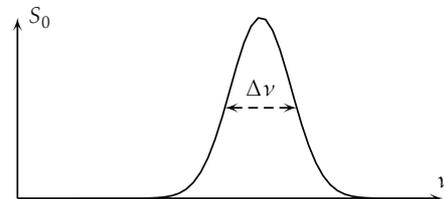
Aspect temporel

Les émissions se font toutes avec la même fréquence, mais de manière aléatoire et sur des durées très courtes ($\tau \equiv 10^{-8}$ s). On ne peut donc pas définir clairement d'amplitude, de phase à un instant *t*.



Aspect spectral

Le fait que l'onde ne soit pas harmonique mais corresponde à une succession d'impulsions permet de considérer ce phénomène comme un paquet d'ondes ayant donc une largeur spectrale (Transformée de Fourier)



Non chromaticité d'une source

On associe à la durée du train d'onde τ une largeur spectrale $\Delta\nu$ autour de la fréquence ν d'émission. Ces grandeurs sont reliées par une relation de la forme

$$\tau \cdot \Delta\nu \equiv 1$$