Chapitre : Modèle scalaire des ondes lumineuses

I- Le modèle scalaire de la lumière

1) Nature de l'onde lumineuse

La lumière est une **onde électromagnétique** se propageant à la vitesse de la lumière. Dans le cas de la lumière naturelle, la direction de $\vec{E}$ change de manière aléatoire au cours du temps, à la différence de la lumière polarisée qui a une direction fixe.

2) La vibration lumineuse

La **vibration lumineuse**, notée $s(M,t)$, est une composante quelconque du champ électrique par rapport à un axe perpendiculaire à la direction de propagation. Celle-ci se propage dans les milieux transparents à la vitesse $v = \frac{c}{n}$ avec c la vitesse de la lumière et n l'indice optique du milieu.
Dans le cas où plusieurs vibrations se propagent simultanément dans l'espace, d'après le **théorème de superposition**, on a : $s(M,t) = \sum s_i(M,t)$

3) Eclairement et intensité vibratoire

Les récepteurs sont caractérisés par le **temps de réponse** τ, temps minimum qui doit séparer deux signaux pour qu'ils soient perçus individuellement, ainsi que par le fait qu'ils ne sont sensibles qu'à la **valeur moyenne** de la puissance lumineuse qu'ils reçoivent.
L'**éclairement** $\mathcal{E}$ est alors la puissance surfacique moyenne reçue par une surface, d'où :

$$\mathcal{E}(M) = K < s^2(M,t) >$$

Et l'**intensité vibratoire** est définie par : $I(M) =< s^2(M,t) >$

II- Lumière monochromatique

1) Définition

La lumière **monochromatique** est une vibration idéale purement sinusoïdale :
$s(M,t) = s_0(M)cos\big(\omega t - \varphi(M)\big)$ avec(s_0, ω, φ) l'amplitude, la pulsation et le retard de phase au point M.

2) Domaine visible

Tableau des longueurs d'onde visible en nm :

400-420	420-440	440-480	480-560	560-580	580-620	620-800

3) Notation complexe

On représente une vibration lumineuse monochromatique par une vibration complexe, tel que $s(M,t) = Re\left(\underline{s(M,t)}\right)$ où $\underline{s}(M,t) = s_0(M)exp\left(i\big(\omega t - \varphi(M)\big)\right)$

4) Expression de l'éclairement

Ainsi, on a : $I(M) = \frac{1}{2}|\underline{s}(M,t)|$ et $\mathcal{E}(M) \ = \frac{K}{2}|\underline{s}(M,t)|$

III- Chemin optique

1) Définition

On définit le chemin optique entre deux points M et N comme : $(MN) = ct_{MN}$.

2) Calcul pratique du chemin optique

On se place dans le cas où les milieux transparents sont dispersifs, homogène et on néglige l'absorption de l'énergie lumineuse par le milieu, ainsi : le chemin optique le long d'un rayon lumineux est égal à la longueur du rayon multipliée par l'indice du milieu traversé.

3) Chemin otique et retard de phase

La vibration lumineuse en N reproduit la vibration en M avec un retard de propagation t_{MN}, ainsi : $\varphi(N) = \varphi(M) + \frac{\omega}{c}(MN)$.
Or dans le cas où le rayon lumineux subit une **réflexion sur une surface métallique**, **une réflexion sur un milieu plus réfringent** ou **passe par un point de convergence**, on ajoute $\frac{\lambda_0}{2}$ au chemin dans chaque fois qu'une de ces situations se présente.

4) Surface d'onde

Une **surface d'onde relative au point S** est une surface formée des points M tel que $(SM) \ = cst$.

5) Théorème de Malus

Théorème de Malus : Les surfaces d'ondes relatives au point source S sont orthogonales aux rayons lumineux issus de S.

6) Egalité des chemins optiques entre points conjugués

Lorsque deux points A et A' sont conjugués par un système optique, le chemin optique (AA') est le même le long de tous les rayons allant de A à A'.

IV- Onde sphérique, onde plane

1) Onde sphérique

Une **onde sphérique** est une onde ayant l'une des caractéristiques suivantes : les rayons lumineux sont des droites concourantes en un point S ; les surfaces d'ondes sont des sphères centrées sur S.

2) Onde plane

Une **onde plane** est une onde ayant l'aune des caractéristiques suivantes : les rayons lumineux sont des droites parallèles entre elles ; les surfaces (**plans d'onde**) sont des plans parallèles entre eux et orthogonaux aux rayons lumineux.

V- Lumières réelles

1) Composition spectrale

Il n'existe pas, dans la réalité, de lumière parfaitement monochromatique, or la vibration lumineuse peut être décomposée en différentes composantes monochromatiques.
On définit alors la **densité spectrale d'éclairement**, notée $\mathcal{E}_\lambda$, comme la contribution à l'éclairement des composantes monochromatiques : $d\mathcal{E} = \mathcal{E}_\lambda(\lambda_0)d\lambda_0$ d'où :

$$\mathcal{E} = \int_0^{+\infty} \mathcal{E}_\lambda(\lambda_0) d\lambda_0$$

On peut se servir d'un prisme ou d'un spectromètre à réseau pour déterminer le spectre de la vibration lumineuse.

2) Sources de lumière blanche

La **lumière blanche** est une lumière dont le spectre est continu et contient toutes les longueurs d'onde du domaine visible. C'est le cas de la lumière émise par le soleil, les lampes à filament et les diodes électroluminescentes.

3) Lampes spectrales

Les lampes spectrales, utilisent le principe d'excitation et de désexcitation des atomes contenus dans son ampoule. Ainsi, une **lampe spectrale** émet une série de longueurs d'ondes caractéristiques de l'élément qu'elle contient. Le spectre est constitué de pics fins appelés **raies spectrales**.

4) Faisceaux lasers

La lumière d'un **faisceau laser** présente une raie spectrale unique beaucoup plus fine qu'une rie de lampe spectrale.

VI- Trains d'ondes

1) La largeur des raies spectrales

Dans le profil fin d'une raie spectrale, on mesure λ_{0m} qui correspond à la longueur d'onde au maximum d'émission et $\Delta\lambda$ la largeur de mi-hauteur. On peut comparer la fréquence moyenne et la largeur de fréquence avec ces informations, en effet on a : $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_{0m}} \simeq \frac{\Delta\nu}{\nu_{0m}}$.

2) Interprétation

A l'aide de la transformée mathématique de Fourrier, on a que pour un signal limité dans le temps, de durée approximative τ_c , son spectre est de largeur en fréquence $\Delta\nu$ avec : $\Delta\nu \sim \frac{1}{\tau_c}$.
On note **train d'ondes** l'onde limitée dans le temps émise par un atome et τ_c le **temps de cohérence**, durée moyenne des trains d'ondes.

3) Longueur de cohérence

La **longueur de cohérence** l_c est la distance que parcourt la lumière dans le vide pendant τ_c d'un train d'onde, d'où : $l_c = c\tau_c$.
De plus, on peut relier la largeur de mi-hauteur d'un spectre avec la longueur de cohérence avec l'expression : $\Delta\lambda = \frac{{\lambda_{0m}}^2}{l_c}$.

4) Modèle des trains d'ondes aléatoires

L'émission de lumière par les atomes est un phénomène quantique, qu'on modélise de manière simplifiée par **les trains d'ondes aléatoires** qui dans le cas de la lumière quasi monochromatique dit que $s_0 = cst$ et φ_0 est aléatoire prenant toutes les valeurs possibles entre 0 et 2π et changeant de valeur au bout de τ_c .