

LUMIÈRE ET ONDE  
LE LASER

### I> Rappels d'optique géométrique :

#### 1. Rappels :

##### . Le rayon lumineux :

Dans un milieu transparent homogène et isotrope, la lumière se propage en ligne droite: le rayon lumineux, dont le rayon laser est la parfaite représentation, est le modèle géométrique qui représente le trajet suivi par la lumière.

##### . Vitesse de la lumière :

Dans le vide, la lumière se propage à  $c =$   
On parle pour le vide de *célérité de la lumière*.

Dans tout autre milieu transparent, sa vitesse est inférieure à  $c$  et on définit alors *l'indice de réfraction* du milieu transparent par

Ce nombre, toujours supérieur à 1 et toujours positif donc, est sans unité en raison de sa définition.

##### . Lois de l'optique géométrique :

Soit un rayon lumineux passant d'un milieu d'indice  $n_1$  à un milieu d'indice  $n_2$  ; une partie de la lumière est réfléchie et l'autre partie transmise ou réfractée.

On écrit les lois de Snell – Descartes :

De plus il est possible qu'il n'y est pas de lumière transmise – cas où  $n_1 > n_2$  et à partir d'une certaine valeur de l'angle  $i_1$  appelée angle limite -.

#### 2. Le phénomène de diffraction :

Lorsque la lumière rencontre un obstacle de très petite dimension, trou ou fente par exemple, certaines de ses propriétés initiales changent : on parle de *diffraction* et l'optique géométrique ne peut expliquer ces phénomènes. Il faut avoir recours à *l'optique ondulatoire*. ☞ doc 1, 2, 3 page 300 et doc 7, 8 page 301

### II> Modèle ondulatoire de la lumière :

#### 1. Rappels sur la notion d'onde :

Ce mot vient du latin unda qui signifie vague.

Les vagues engendrées par un caillou constitue une onde, phénomène qui se propage.

Le son, succession de zones de dilatation – compression, est une onde – vu en seconde -.

On rappelle qu'une onde sonore, et tout type d'onde, possède :

- une périodicité temporelle  $T$  en (s) appelée période
- une périodicité spatiale  $\lambda$  en (m) appelé longueur d'onde :  $\lambda$  est la distance parcourue par l'onde pendant une période  $T$ .

En notant de nouveau par  $v$  la vitesse de propagation de l'onde, on a

. *Onde sonore et diffraction* :

Une onde sonore traversant un obstacle dont les dimensions sont de l'ordre de ou inférieures à la longueur d'onde  $\lambda$  alors cette onde subit le phénomène de *diffraction* : certaines de ses propriétés initiales changent. Il en est de même pour une onde qui se propagent sur un liquide.

. *Conséquences* :

La diffraction est un phénomène caractéristique des ondes.

Or la lumière subit ce phénomène lorsque la condition « obstacle inférieur ou égal à  $\lambda$  » est vérifiée.

On peut conclure que la lumière se comporte comme une onde.

### 2. Dualité onde – corpuscule :

Il n'est pas possible de conclure sur la nature de la lumière : certaines expériences ne peuvent s'expliquer que par le caractère ondulatoire, d'autres par le caractère corpusculaire – photons - .

Remarque importante : il résulte de cette possibilité de diffraction des phénomènes gênants et préjudiciables à la qualité de certains instruments d'optique. En particuliers pour le microscope dont l'ouverture de l'objectif peut être source de diffraction donc nuit à l'image observée.

### 3. Nature ondulatoire de la lumière :

Il est donc possible d'attribuer à une onde lumineuse les mêmes caractéristiques qu'une onde sonore, à savoir  $\lambda$  et  $T$ .

Une onde lumineuse caractérisée par une  $\lambda$  unique est dite *monochromatique* : plus simplement, elle est constituée d'une unique couleur comme le laser.

Une onde lumineuse constituée de plusieurs  $\lambda$  est dite *polychromatique* : elle est constituée de plusieurs couleurs, comme la lumière blanche, et sa couleur visible est la synthèse additive de toutes ses couleurs.

Ainsi dans le vide

Dans l'air on peut écrire :

## III> Interférences :

### 1. Cas d'ondes mécaniques :

Si deux ondes mécaniques, comme des vagues, se rencontrent, elles interfèrent. C'est le cas en optique si deux faisceaux lumineux se rencontrent et ce sous certaines conditions que nous verrons plus tard.

Prenons le cas typique de deux ondes mécaniques identiques qui se propagent sur l'eau: leur amplitude respective s'ajoute à tout moment lors de l'interférence des deux ondes.

Ainsi vous avez vu en mécanique :

- sommet + sommet = sommet = mouvement = ondes dites en *phase*
- creux + creux = creux = mouvement = ondes en *phase*
- creux + sommet = "rien" = pas de mouvement = ondes en *opposition de phase*

De même, en interférences acoustiques, on peut avoir:

- son + son = son                      mais aussi                      son + son = silence.

Finalement, en optique on peut de la même façon observer:

- lumière + lumière = lumière bien sûr, mais aussi = obscurité.

### 2. Interférences lumineuses en lumière monochromatique :

Alors que l'obtention d'interférences mécaniques est triviale, les interférences lumineuses sont particulièrement délicates et ne s'observent que pour des situations rigoureuses.

Il est impératif d'utiliser deux sources lumineuses dites cohérentes c'est à dire :

- de même fréquence
- qui émettent des ondes en phase.

Or, il n'est pas possible d'avoir deux sources lumineuses vérifiant ces conditions !!

Pour ce faire, il faut une astuce expérimentale que sont les dispositifs de Young :

- fentes de Young ☞ doc 15, 16 et 17 page 303
- trou de Young ☞ doc 18 page 304

Remarque : ces dispositifs ne sont pas les seuls susceptibles de produire des interférences lumineuses.

On observe donc la superposition des phénomènes de diffraction et d'interférences pour des obstacles suffisamment petits. Il s'agit d'une succession de franges sombres et brillantes, équidistantes d'une distance notée  $i$  appelée interfrange, qui apparaissent dans les zones lumineuses de la diffraction.

Aussi,

- en un point quelconque d'une frange brillant, les deux ondes lumineuses issues des deux trous, ou des deux fentes, arrivent en phase et leur superposition est *constructive*.
- en un point quelconque d'une frange sombre, les deux ondes lumineuses issues des deux trous, ou des deux fentes, arrivent en opposition de phase et leur superposition est *destructive*.

### 3. différence de marche :

Le dispositif est celui du doc. 30 page 307, de sorte que la source S est sur la médiatrice de S1S2.

Dans ce cas, le plus courant, M étant un point quelconque de l'écran, on définit la différence de marche au point M, notée  $\delta(M)$ , par la quantité

$$\delta(M) = \quad \text{en (m)}$$

On montre que :

- si  $\delta(M) = k \cdot \lambda$  où  $k \in \mathbb{Z}$  alors interférence constructive donc frange lumineuse au point M
- si  $\delta(M) = (k + \frac{1}{2}) \cdot \lambda$  où  $k \in \mathbb{Z}$  alors interférence destructive donc frange sombre au point M.

## IV> Les ondes électromagnétiques :

### 1. Nature :

On les nomme ainsi car elles résultent de la propagation combinée d'un champ électrique et d'un champ magnétique : la lumière ne constitue qu'une très petite partie du domaine des ondes électromagnétiques

☞ doc 38 page 312

On retient que le domaine de la lumière visible se trouve approximativement entre 400nm et 800nm pour la longueur d'onde  $\lambda$ .

### 2. Les différents domaines :

☞ lecture page 312

V> Le LASER :1> *Introduction* :

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, ou amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement.

Dés 1917, Einstein pose le principe de l'émission stimulée à la base du fonctionnement du laser ; il faut attendre 1960 pour voir fonctionner le premier appareil aux U.S.A..

2> *Directivité du faisceau* :

Le faisceau est particulièrement directif, propriétés utilisée dans les visées ☞ page 352.

On définit ainsi *l'angle de divergence*  $2\varepsilon$  : ☞ doc. 9 page 348

Celui-ci, par exemple, ne dépasse pas  $0,12^\circ$  pour les lasers utilisés en lycée.

3> *Monochromaticité* :

On peut admettre que le laser est une source constituée d'une seule longueur d'onde. Notons que le laser bien connu, de lumière rouge, est le laser He-Ne de  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ .

4> *Cohérence* :

C'est une source cohérente : on peut donc observer des interférences avec les dispositifs de Young sans ajouter une fente primaire.

5> *Puissance surfacique* :

Prenons un petit laser de lycée de 2mW ; sa puissance semble ridicule mais si on la ramène au mètre carré, et alors on parle de *puissance surfacique*, on obtient  $4000 \text{ W.m}^{-2}$  soit 4 fois la lumière moyenne reçue du Soleil. En effet la puissance surfacique est grande car la surface d'impacte du faisceau est très petite.

Avec des lasers dit de puissances, on peut atteindre, sous forme d'impulsions de l'ordre de la picoseconde, jusqu'à 100 TW soit 100 milliard de fois la lumière solaire !

6> *Applications* :

☞ page 352 et suivantes