

STRUCTURE D'UNE ONDE ELECTROMAGNETIQUE ET DESCRIPTION DES PHENOMENES DE PROPAGATION

1. Structure d'une onde électromagnétique

La lumière présente un double aspect : corpusculaire (formée de particules, les photons) et ondulatoire (la lumière est décrite comme une onde électromagnétique). Dans ce chapitre on s'intéresse à l'aspect ondulatoire de la lumière.

1.1 Caractéristiques d'une onde électromagnétique

Les grandeurs physiques associées à une onde électromagnétique sont :

- la période T (s)
- la fréquence f (Hz)
- la longueur d'onde λ (m)
- la célérité c (m.s^{-1})

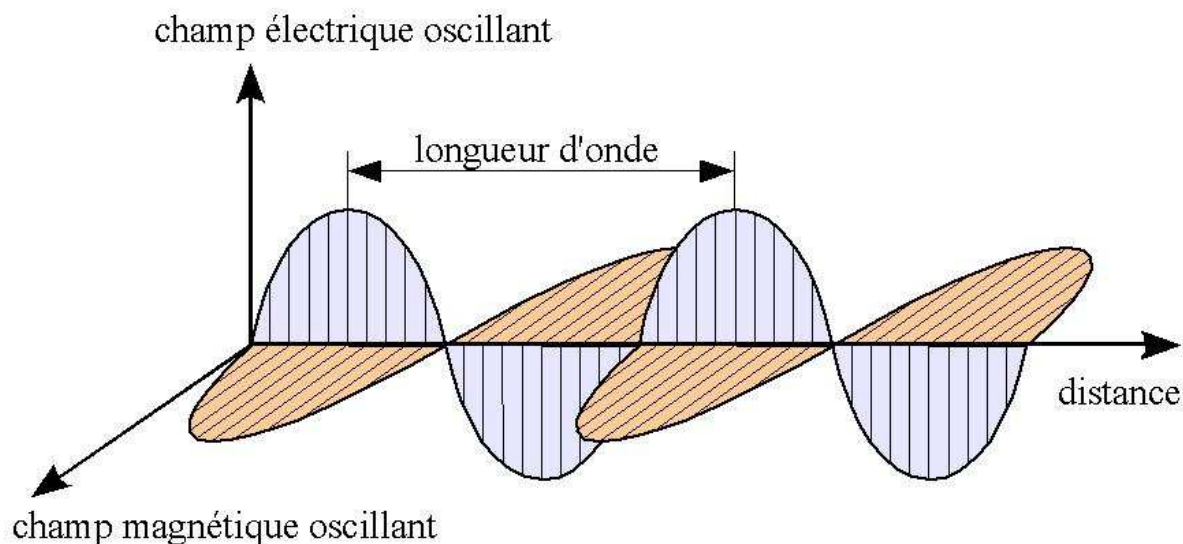
Ces grandeurs sont reliées par les relations suivantes :

$$\lambda = c \times T = \frac{c}{f}$$

Les ondes électromagnétiques se propagent dans le vide ou dans l'air avec une célérité $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

1.2 Structure

Une onde électromagnétique est composée d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Le champ électrique se note \vec{E} et se mesure en volt par mètre (V.m^{-1}) et le champ magnétique se note \vec{B} et se mesure en tesla (T)

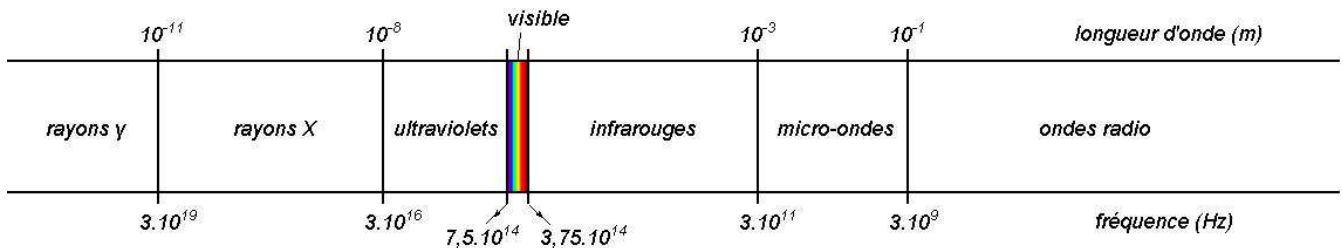


Les deux champs sont :

- sont périodiques dans le temps et dans l'espace
- sont perpendiculaires l'un à l'autre et à la direction de propagation
- ont des amplitudes en rapport constant ($\frac{E}{B} = c$)
- ont la même fréquence et la même longueur d'onde

1.3 Intervalle spectral

Selon le domaine de fréquence ou de longueur d'onde qui lui correspond, une onde électromagnétique prend le nom d'onde radio, de lumière, de rayons X ...

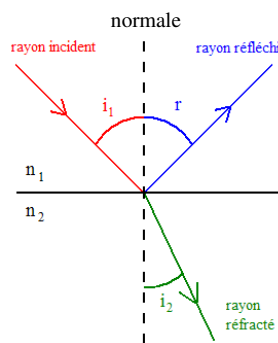


2. Description des phénomènes de propagation

2.1 Réflexion, réfraction

Lorsqu'un rayon lumineux (onde incidente) arrive sur un dioptre plan (surface de séparation entre deux milieux d'indices optiques différents n_1 et n_2), deux ondes lumineuses sont générées au niveau de l'interface :

- une onde réfractée qui se propage dans le deuxième milieu
- une onde réfléchi qui se propage dans le premier milieu



a) 1^{ère} loi de Descartes

Le rayon incident et la normale définissent le plan d'incidence, dans lequel se trouvent les directions des rayons réfléchi et réfracté.

b) 2^{ème} loi de Descartes : loi de la réflexion

L'angle que fait la direction du rayon réfléchi avec la normale est égal à l'angle d'incidence : $r = i_1$

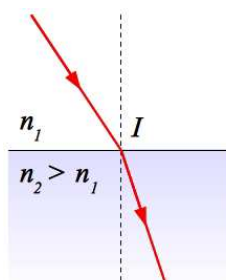
c) 3^{ème} loi de Descartes : loi de la réfraction

L'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 vérifient la relation :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

- cas où $n_2 > n_1$

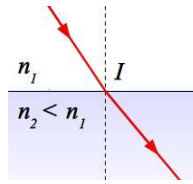
Le rayon réfracté existe quel que soit l'angle d'incidence i_1 . Le rayon réfracté se rapproche de la normale.



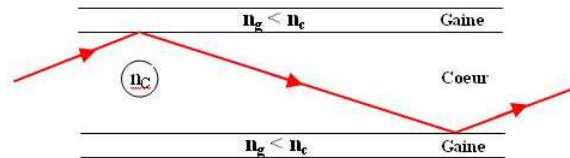
- cas où $n_2 < n_1$

Deux situations peuvent se présenter :

- $|n_1 \sin i_1| \leq n_2$ un rayon réfracté existe et le rayon réfracté s'écarte de la normale.



- $|n_1 \sin i_1| \geq n_2$ il n'existe pas de rayon réfracté, on parle de réflexion totale. C'est le principe de la fibre optique où la lumière est guidée à l'intérieur de la fibre par une succession de réflexions totales.



2.2 Diffraction

Lorsqu'on éclaire une fente ou un obstacle fin avec une lumière monochromatique, une partie de cette lumière atteint une zone qui aurait dû être dans l'ombre. C'est le phénomène de diffraction.

L'alternance de zones lumineuses et de zones sombres est appelée figure de diffraction.

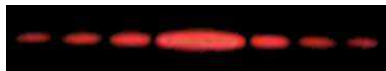


Figure de diffraction d'une fente fine

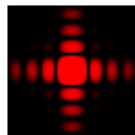


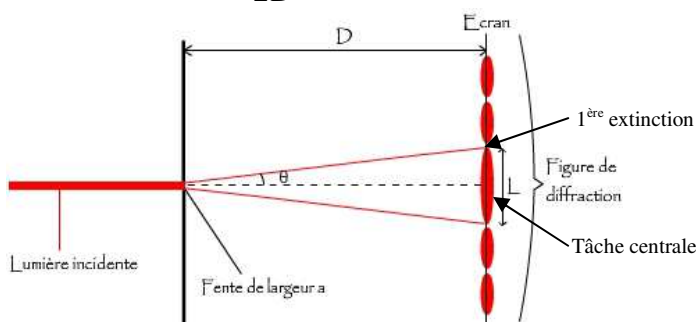
Figure de diffraction par un trou carré

L'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la longueur d'onde λ aux dimensions a de l'ouverture ou de l'obstacle. L'angle θ , appelé « demi-angle de diffraction » ou « écart angulaire » est défini à partir de la tâche centrale, la plus lumineuse, et de la première extinction. Cet angle θ est donné par la relation :

$$\theta = \frac{\lambda}{a} \quad (\theta \text{ est exprimé en radian, } \lambda \text{ et } a \text{ s'expriment avec la même unité)}$$

En pratique, la distance D séparant la fente de l'écran est très grande par rapport à la longueur L de la tâche centrale. On a alors :

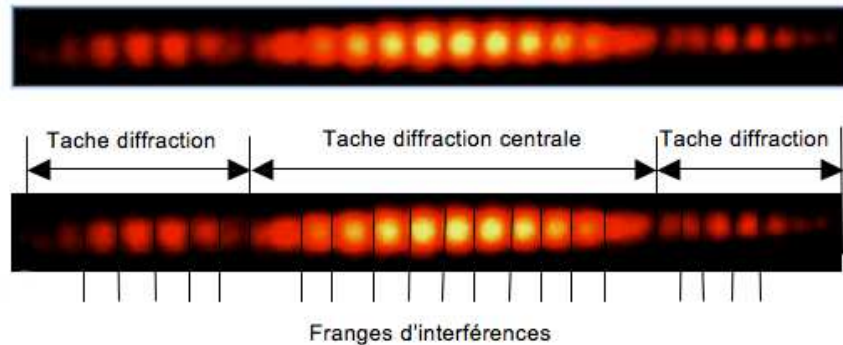
$$\theta = \tan \theta = \frac{L}{2D}$$



2.3 Interférences

2.3.1 Observation d'interférence en lumière monochromatique

Une fente éclairée en lumière monochromatique permet d'obtenir une figure de diffraction. Lorsqu'on éclaire deux fentes proches et parallèles (fentes d'Young) avec de la lumière monochromatique, on observe une figure de diffraction striée d'une alternance de bandes noires et lumineuses appelées « franges d'interférences »



Deux ondes de même fréquence qui se superposent peuvent interférer. On observe alors des franges d'interférences. Une figure d'interférence stable s'obtient avec des ondes de même fréquence et présentant un déphasage constant. Ce sont des ondes cohérentes qui sont émises par des sources cohérentes.

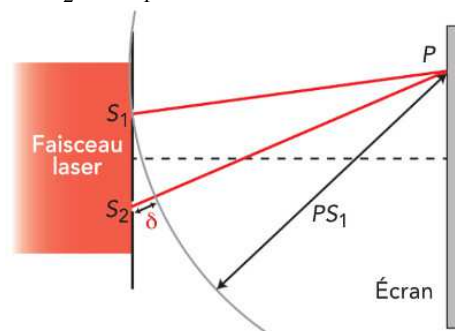
2.3.2 Interférences constructives et destructives

Les interférences sont constructives en tout point où les ondes qui interfèrent sont en phase.

Les interférences sont destructives en tout point où les ondes qui interfèrent sont en opposition de phase.

2.3.3 Différence de marche

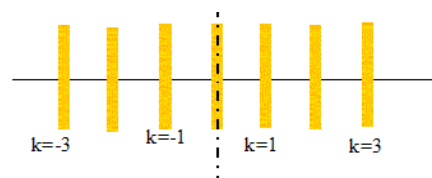
Le déphasage observé au point P est lié à la différence de marche δ de ces ondes. Dans le cas particulier des interférences obtenues par des fentes d'Young la différence de marche s'écrit : $\delta = S_2P - S_1P$



On observe des interférences constructives quand $\delta = k \times \lambda$

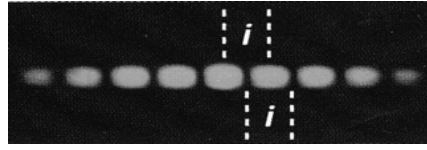
On observe des interférences destructives quand $\delta = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda$

k est un nombre entier positif ou négatif appelé ordre d'interférences.



2.3.4 Interfrange

Lors d'interférences lumineuses, l'interfrange, noté i , est la distance séparant deux franges brillantes ou deux franges sombres consécutives.



Dans le cas des fentes d'Young éclairées en lumière monochromatique de longueur d'onde λ , l'interfrange i s'exprime par :

$$i = \frac{\lambda \times D}{b} \text{ où } b \text{ est la distance séparant les deux fentes et } D \text{ la}$$

distance entre le système de fentes et l'écran.

La mesure de l'interfrange permet de déterminer expérimentalement la longueur d'onde de la lumière monochromatique.