INTERFÉRENCES LUMINEUSES

TERMINALE S

I. Interférences lumineuses

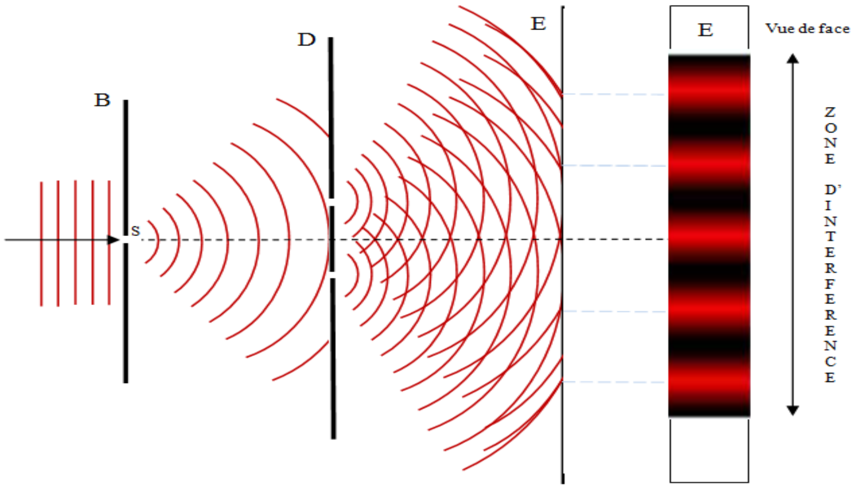
I.1 Le phénomène d'interférence

Le phénomène d'interférence résulte de la superposition en un point de l'espace P de deux ondes O_1 et O_2 émises par des sources synchrones (même fréquence) et cohérentes (présentant un déphasage constant).
Ces deux sources S_1 et S_2 peuvent s'obtenir à partir d'une source unique S. (dispositif de Young)

I.2 Interférence en lumière monochromatique

I.2.1-) Expériences des fentes de Young

La source monochromatique émet un faisceau lumineux qui illumine la fente S de l'écran B. La lumière qui s'étend ensuite, sous l'effet de la diffraction, éclaire deux fentes S_1 et S_2, de l'écran D. La diffraction de la lumière au niveau de ces deux fentes donne deux faisceaux cohérents qui se superposent sur l'écran E.
S, S_1 et S_2 sont de fines fentes assez étroites (largeur de l'ordre de 1 à 2 dixièmes de millimètre) pour donner lieu à des phénomènes de diffraction.



I.2.2-) Observations

Les deux systèmes de diffraction se recouvrent dans la zone d'interférence, au centre de la partie éclairée de l'écran E. On observe des franges très lumineuses et très fines, serrées, encadrées de lignes plus larges et nettement moins lumineuses. Ils se forment des franges rectilignes parallèles aux fentes (voir écran).

I.2.3-) Interprétation

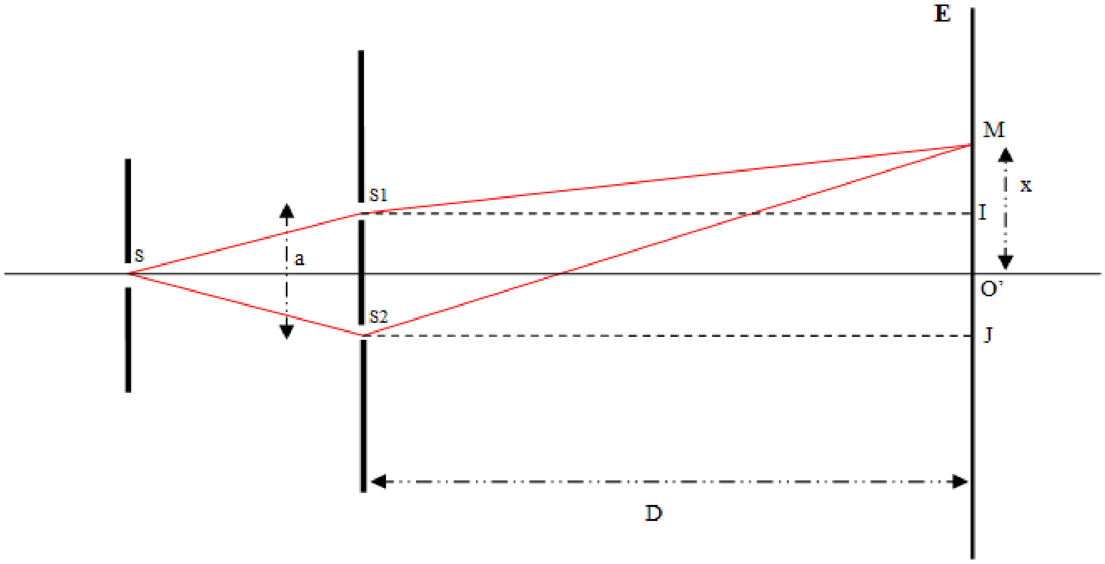
L'existence des franges s'explique de manière analogue à celles observées à la surface de l'eau.

- En un point d'une frange brillante, se superposent deux ondes provenant de S_1 et S_2 et arrivant en phase (interférence constructive). Les points d'une frange brillante vibrent avec une amplitude maximale.
- En un point d'une frange sombre, se superposent deux ondes arrivant en opposition de phase (interférence destructive). Les points d'une frange sombre vibrent avec une amplitude nulle.

I.3 Différence de marche et interfrange

I.3.1- La différence de marche :

La **différence de marche** entre deux rayons lumineux représente la **différence des chemins optiques** parcourus par ces deux rayons.



a (distance S_1 S_2) est très faible devant D (distance séparant S_1S_2 de l'écran E) ; a <<< D
x (distance O'M) est très faible devant D (distance séparant S_1S_2 de l'écran E) ; x <<< D

M est un point du champ d'interférence tel que O'M = x.
SS_1M et SS_2M sont les chemins optiques parcourus par deux rayons lumineux qui se superposent en M
La différence de marche $\delta = SS_2M - SS_1M = S_2M - S_1M$ car $SS_1 = SS_2$.
En posant $S_1M = d_1$ et $S_2M = d_2$, on a $\delta = d_2 - d_1$.
D'après le triangle S_1M I; $(S_1M)^2 = (S_1I)^2 + (IM)^2$ avec $S_1I = D$, IM = O'M – O'I et O'I = $\frac{a}{2}$.

➔ $d_1^{\ 2} = D^{\ 2} + (x - \frac{a}{2})^{\ 2}$

D'après le triangle S_2MJ; $(S_2M)^2 = (S_2J)^2 + (JM)^2$ avec $S_2J = D$, JM = O'M + JO' et JO'= $\frac{a}{2}$.

➔ $d_2^{\ 2} = D^{\ 2} + (x + \frac{a}{2})^{\ 2}$

$d_2^{\ 2} - d_1^{\ 2} = [D^{\ 2} + (x + \frac{a}{2})^{\ 2}] - [D^{\ 2} + (x - \frac{a}{2})^{\ 2}] = (x + \frac{a}{2})^{\ 2} - (x - \frac{a}{2})^{\ 2} = 2.ax$

$(d_2 + d_1)(d_2 - d_1) = 2.ax$. Sachant que a <<< D et x<<< D, alors d_1, d_2 et D sont approximativement égales ; $d_1 \approx d_2 \approx D$.

$d_1 + d_2 \approx D + D = 2D$ ➔ $d_2 - d_1 = \frac{2ax}{d2\ +d1} = \frac{2ax}{2D}$.

La différence de marche $\boldsymbol{\delta = \frac{ax}{D}}$

I.3.2- L'interfrange :

.

a- Définition

L'interfrange i est la distance de deux franges consécutives de même nature

b- Position des franges brillantes

Un point M(x) appartient à une frange brillante si la différence de marche δ entre les deux ondes qui parviennent en M est $\underline{\delta = k.\lambda \text{ avec } k \in \mathbb{Z}}$

$\boldsymbol{\delta = \frac{ax}{D} = k\lambda}$ **alors** $\boldsymbol{x = k\frac{\lambda D}{a}}$.

Si k = 0 ➔ x = 0 : la frange centrale est toujours brillante.

k	…..	- 3	-2	- 1	0	1	2	3	….
x	…..	$-3\frac{\lambda D}{a}$	$-2\frac{\lambda D}{a}$	$-\frac{\lambda D}{a}$	0	$\frac{\lambda D}{a}$	$2\frac{\lambda D}{a}$	$3\frac{\lambda D}{a}$	….

c- Position des franges obscures ou sombres

Un point M appartient à une frange sombre si la différence de marche δ entre les deux ondes qui parviennent en M est : $\delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ **avec k ∈ Z**

$\delta = \frac{ax}{D} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ **alors** $x = \left(k + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda D}{a}$.

k	…..	- 3	-2	- 1	0	1	2	3	….
x	…..	$-\frac{5}{2}\frac{\lambda D}{a}$	$-\frac{3}{2}\frac{\lambda D}{a}$	$-\frac{1}{2}\frac{\lambda D}{a}$	$\frac{1}{2}\frac{\lambda D}{a}$	$\frac{3}{2}\frac{\lambda D}{a}$	$\frac{5}{2}\frac{\lambda D}{a}$	$\frac{7}{2}\frac{\lambda D}{a}$	….

d- Expression de l'interfrange i:

- **Cas des franges brillantes :**

Soient deux franges brillantes consécutives dont les milieux ont pour abscisse x_k et x_{k+1} :
L'interfrange i est telle que : $i = x_{k+1} - x_k$

$x_k = k\frac{\lambda D}{a}$ et $x_{k+1} = (k+1)\frac{\lambda D}{a}$, $i = (k+1)\frac{\lambda D}{a} - k\frac{\lambda D}{a} = \frac{\lambda D}{a}$ $\qquad$ $\mathbf{i = \frac{\lambda D}{a}}$

- **Cas des franges sombres:**

Soient deux franges sombres consécutives dont les milieux ont pour abscisse x_k et x_{k+1} :
L'interfrange i est telle que : $i = x_{k+1} - x_k$

$x_k = \left(k+\frac{1}{2}\right)\frac{\lambda D}{a}$ et $x_{k+1} = \left(k+\frac{3}{2}\right)\frac{\lambda D}{a}$, $i = \left(k+\frac{3}{2}\right)\frac{\lambda D}{a} - \left(k+\frac{1}{2}\right)\frac{\lambda D}{a}$ $\qquad$ $\mathbf{i = \frac{\lambda D}{a}}$

L'interfrange i est indépendante de k; les franges sont équidistantes.

e- Application :

La mesure de i, connaissant D et a, permet d'évaluer la longueur d'onde λ de la lumière monochromatique utilisée.
Exemple : Pour une lumière rouge du laser, avec a = 1 mm, D = 1 m et i 0,63 mm ; $\mathbf{i = \frac{\lambda D}{a}}$ ce qui donne $\lambda = \frac{a.i}{D}$ $\quad \lambda = \frac{10^{-3} \times 0{,}63.10^{-3}}{1} = 0{,}63.10^{-6}\,m = 0{,}63\,\mu m$

f- Ordre d'interférence

Les positions des franges brillantes sont données, en fonction de l'interfrange par : $\mathbf{x = k\frac{\lambda D}{a} = k.i}$

Celles des franges sombres par : $\mathbf{x = \left(k+\frac{1}{2}\right)\frac{\lambda D}{a} = \left(k+\frac{1}{2}\right).i}$

On appelle ordre d'interférence le rapport $p = \frac{\delta}{\lambda}$ $\qquad$ $p = \frac{ax}{D\lambda} = \frac{x}{i}$

Si $p = \frac{x}{i} = k =$ (…, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3,…), la frange correspondante est brillante

Si $p = \frac{x}{i} = k + \frac{1}{2} = \left(\ldots, -\frac{5}{2}, -\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2} \ldots\right)$, la frange correspondante est sombre.

II. Interférence en lumière blanche :

II.1) Spectre de la lumière blanche

La lumière blanche (lumière solaire) est polychromatique. Sa dispersion par un prisme montre que celle ci est constituée d'une infinité de radiations dans une gamme de longueur d'onde (0,4 μm < λ < 0,8 μm),allant du rouge au violet et présentant toutes les couleurs de l'arc-en-ciel (rouge, orange jaune, vert, bleu, indigo, violet).
L'ensemble de ces radiations constitue le spectre de la lumière blanche.
Ces radiations ne sont pas séparées ; on dit alors que le spectre de la lumière blanche est un spectre continu.

II.2) Franges en lumière blanche

II.2.1) Observation

Dans l'expérience des fentes de YOUNG, lorsqu'on remplace la source de lumière monochromatique (laser) par une source de lumière blanche,

- ✓ On observe sur l'écran une frange centrale blanche (qui est la superposition de toutes les couleurs)
- ✓ De part et d'autre de cette frange blanche, on observe alternativement des franges brillantes irisées (colorées) et des franges sombres non noires.
- ✓ Plus loin, l'écran devient uniformément blanchâtre.

II.2.2) Interprétation

Chacune des radiations visibles de la lumière blanche donne un système de franges décalées par rapport aux autres.

- ➢ Au centre O de l'écran, la différence de marche δ = 0 pour toutes les radiations. La superposition des franges brillantes des différentes couleurs donne une frange centrale blanche.
- ➢ Lorsqu'on s'écarte de O, les systèmes de franges ne coïncident plus car l'interfrange $i = \frac{\lambda.D}{a}$ dépend de λ.
- ➢ A une distance plus grande de la frange centrale, la superposition des diverses franges est très complexe. L'œil ne voit que du blanc grisâtre appelé blanc d'ordre supérieur. Lorsqu'on l'analyse au spectroscope, on voit des bandes noires correspondant aux radiations manquantes (qui présentent une frange obscure). Le spectre est dit cannelé.

III. Les ondes électromagnétiques

Une onde électromagnétique résulte de la propagation simultanée dans l'espace d'un champ électrique E et d'un champ magnétique B qui sont des grandeurs vibratoires de haute fréquence. Elles sont classées en fonction de leur fréquence ou de leur longueur d'onde.

Les différents types d'ondes électromagnétiques