Nom :……………. ***Coéquipier : ………….***

Comment utiliser les interférences pour mesurer des distances entre des fentes ?

Thomas Young
(1773-1829)

C'est en 1750 qu'Isaac Newton mit en évidence le phénomène d'interférences en plaçant une lentille convexe de grand rayon de courbure sur un plan optique. Thomas Young reprit les textes de Newton ; c'est en 1801 qu'il découvre les interférences lumineuses. Le dispositif utilisé est composé d'une source ponctuelle éclairant deux trous et d'un écran parallèle. En raison d'un manque de luminosité, il remplaça les trous par deux fentes parallèles.
Dans cette activité expérimentale, vous utiliserez une diode LASER comme source de lumière monochromatique.

I. QUEL EST LE POINT DE VUE HISTORIQUE ?

Thomas Young publie le 1er juillet 1802 dans ***Rapport sur certains cas de production de couleurs*** :
« La lumière est émise par une source qui atteint l'œil par deux chemins différents, présente un maximum d'intensité si les longueurs des chemins sont séparés d'une distance égale à un multiple quelconque d'une certaine longueur ; et un minimum s'il s'agit d'un multiple impair de la moitié de cette longueur ; enfin, cette longueur dépend de la couleur de la lumière. »
De quelle longueur parle-t-il ?

II. QUEL EST LE POINT DE VUE MATHÉMATIQUE ? ***Se servir de l'ANNEXE.***

1. A partir des données de l'Annexe, déterminer l'expression de $Y_M(t)$ en factorisant la somme

$$Y_M(t) \ =$$

2. Dans cette expression, quelles sont les conditions requises, pour observer des **interférences** ?

3. En supposant que ces conditions soient respectées, déduire les expressions de la différence de marche $\delta = d_2 - d_1$ pour l'on ait (en admettant que les deux sources sont en phase):

a) un éclairement maximal – on parle alors **d'interférences constructives**- δ = ……………….

b) un éclairement minimal – on parle alors **d'interférences destructives**-- δ = ……………….

4. Dans le cas des fentes de Young, montrer que, pour un point M de l'écran repéré par sa position x (*voir schéma*), la différence de marche δ_M a pour expression $\frac{a \,.\, x}{D}$

5. En déduire l'expression des valeurs de x correspondant à un point M :

a) d'éclairement maximal : x = …………………… b) d'éclairement minimal : x = ……………………

6. En déduire l'expression de l'interfrange i en rappelant au préalable la définition.

III. APPLICATIONS

Matériel à disposition :

Diode LASER, réseau, télémètre, fentes, logiciels **Regavi** et **Regressi**, appareil photo numérique, lampe de poche avec calque (ou photo **Réseau.JPG**).

*Rem : **Regressi** et **Regavi** sont des logiciels en téléchargement libre sur Internet*

Voir http://jean-michel.millet.pagesperso-orange.fr/

A. COMMENT MESURER LE NOMBRE DE TRAITS D'UN RÉSEAU ?

Un réseau est un ensemble de fentes fines ou raies séparées par une distance a. Le réseau est généralement défini par N , le nombre de raies par mm donc N = 1/a avec a en mm.

Manip prof : allumer la diode LASER et placer le réseau dans l'axe du faisceau.

Pour le réseau, on montre que l'on a la relation :

$$i \times a = \lambda \times D$$

avec : i : interfrange en m

λ : longueur d'onde en m

D : distance fentes-écran en m (mesurée au télémètre)

a : distance séparant deux traits du réseau

incertitude :

$$\frac{u_a}{a} = \sqrt{\left(\frac{u_i}{i}\right)^2 + \left(\frac{u_\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2} \quad \text{et} \quad \frac{u_N}{N} = \frac{u_a}{a}$$

1. Proposer un protocole pour déterminer avec le moins d'incertitude l'interfrange **i** puis **a** et **N** le nombre de traits/mm.

2. À l'aide du logiciel **Regavi** et **Lecture d'intensité lumineuse)** puis un transfert vers **Regressi** *(Rem : il faut démarrer Regressi avant de faire le transfert de Regavi vers Regressi),* analyser cette photo afin de déterminer l'interfrange i puis a et N sachant que D = 4,65 m.

Sauvegarder le fichier **Regressi** avec la courbe donnant l'intensité lumineuse en fonction de la position. Joindre la courbe obtenue avec le compte rendu en précisant sur la courbe la démarche permettant de déterminer i.

3. Évaluer les incertitudes relatives sur a puis sur N sachant que l'incertitude sur D est donnée par la notice du télémètre à 0,01 m en calculant d'abord les incertitudes relatives sur D, i et λ . En déduire le nombre de chiffres significatifs à conserver pour a et N.

4. Interpréter la courbe obtenue avec **Regressi** donnant l'intensité lumineuse en fonction de la position.

B. COMMENT MESURER LA DISTANCE SÉPARANT DEUX FENTES ?

Allumer la diode LASER et déplacer la diapositive avec la double fente de telle sorte que le faisceau traverse les deux fentes.

1. D'après les questions **2.** et **3.** de la partie **II.**, proposer un protocole permettant d'obtenir l'interfrange i.

2. En déduire la distance a entre les fentes. Évaluer l'incertitude absolue sur a en détaillant votre raisonnement. Travailler respectivement sur les Diapo3 et Diapo 4 pour 0,2 mm (indication de la diapo)

Diapo 3	Diapo 4

ANNEXE MATHÉMATIQUE

La superposition de deux ondes

Soient deux ondes provenant respectivement de deux sources S_1 et S_2 et se superposant en un point M tel que $S_1M = d_1$ et $S_2M = d_2$ Au point M, l' onde $Y_{1M}(t)$ - *resp* $Y_{2M}(t)$ - correspond à la vibration de la source S_1 – *resp* S_2 – mais avec un certain retard $\delta t_1 = \frac{d_1}{V}$ - *resp* $\delta t_2 = \frac{d_2}{V}$ -

En S_1 : $Y_{S1} = A_1 . \cos(\omega_1.t)$ au point M : $Y_{1M}(t) = Y_{S1}(t - \delta t_1) = A_1 . \cos[2\pi(\frac{t}{T_1} - \frac{d_1}{\lambda_1}) + \phi_1]$

En S_2 : $Y_{S2} = A_2 . \cos(\omega_2.t + \phi)$ au point M : $Y_{2M}(t) = Y_{S2}(t - \delta t_2) = A_2 . \cos[2\pi(\frac{t}{T_2} - \frac{d_2}{\lambda_2})] + \phi_2]$

La loi de superposition permet d'écrire $Y_M(t) = Y_{1M}(t) + Y_{2M}(t)$

Quelques données :

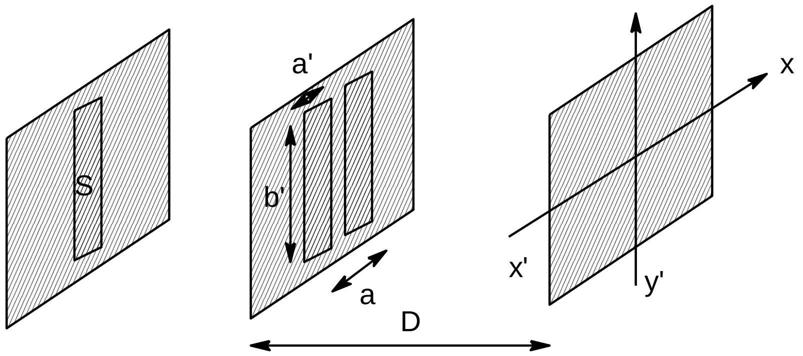
- L'œil ou les capteurs de lumière ne sont pas assez rapides pour voir les oscillations d'une onde électro-magnétique. Ils ne voient que des valeurs moyennes de l'énergie lumineuse, qui est proportionnelle à E^2 (E : champ électrique). Donc si $E = E_m \cos(\omega.t - k.x)$, la valeur moyenne de E est nulle - La valeur moyenne d'un sin ou cos = 0 – mais, la valeur moyenne de E^2 est égale à $\frac{E_m^2}{2}$ - La valeur moyenne d'un sin ou cos au carré = ½ -

Autrement dit : l'intensité lumineuse est proportionnelle à l'amplitude au carré => $I \propto E_m^2$

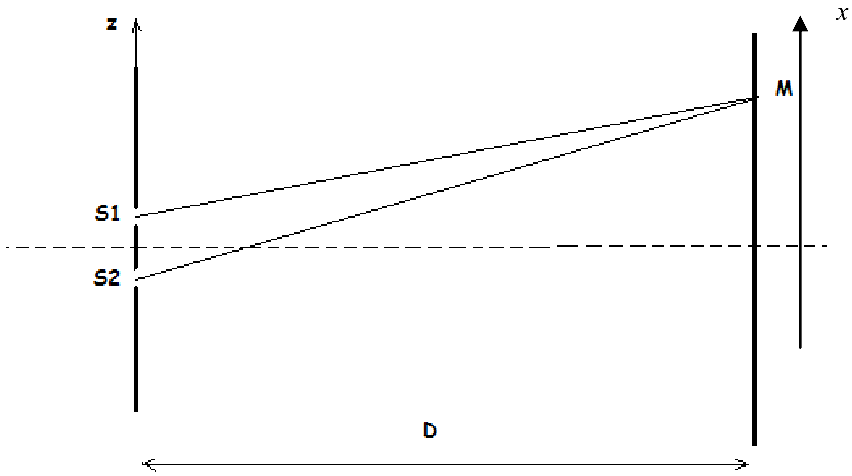
- $\cos p + \cos q = 2 \cos(\frac{p+q}{2}) . \cos(\frac{p-q}{2})$ (il suffit de poser $p = a + b$ et $q = a – b$ => $\cos(a + b) + \cos(a - b) = 2 \cos a \cos b$)
- Nous admettrons que les deux amplitudes, au niveau des deux sources sont égales : $A_1 = A_2$

Les fentes de Young *(schéma évidemment pas à l'échelle)*

vue en perspective



vue de dessus



Formule d'approximation : $(1 + \varepsilon)^n = 1 + n\,\varepsilon$ *quand* $\varepsilon << 1$