Ondes 2 : Interférences lumineuses

1 Rappels

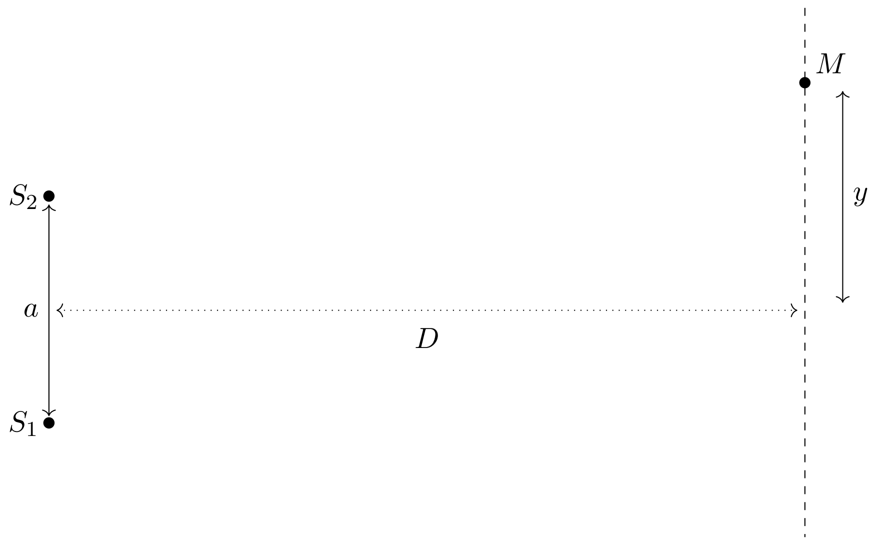
Écriture mathématique d'une onde progressive sinusoïdale
Une onde progressive **sinusoïdale** (ou **harmonique**) se propageant selon l'axe (Ox) peut s'écrire :
- $s_{\rightarrow}(x,t) = S\cos(kx - \omega t + \varphi)$ si elle se propage dans le sens des x croissants ;
- $s_{\leftarrow}(x,t) = S\cos(kx + \omega t + \varphi)$ si elle se propage dans le sens des x décroissants.

$\omega \triangleq \dfrac{2\pi}{T}$ est la **pulsation temporelle** de l'onde en $\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$ et $k \triangleq \dfrac{2\pi}{\lambda}$ est le **nombre d'onde** en $\mathrm{rad}\cdot\mathrm{m}^{-1}$.
On a notamment $\omega = kc$, où c est la célérité de l'onde.

2 Ondes résultantes et interférences

Supposons que deux ondes s_1 et s_2 partent de deux sources S_1 et S_2. Ces deux ondes ont la même longueur d'onde λ, la même pulsation ω et la même amplitude S.

Ces deux ondes vont de leur origine vers un point M situé « assez loin » des sources ; son ordonnée est notée y. La distance S_1M sera notée ℓ_1 et la distance S_2M sera notée ℓ_2. La distance entre les deux sources est $S_1S_2 = a$, et on note D la distance entre le plan des sources et le point M.



Question 1 : Exprimer l'onde $s_1(M,t)$ en fonction de k, ω, t et ℓ_1, en supposant qu'il n'y a pas de phase à l'origine $\varphi = 0$). Faire de même pour l'onde $s_2(M,t)$.

Question 2 : Que doit valoir $k\ell_1 - \omega t$ pour que $s_1(M,t)$ soit maximale ? Même question pour $k\ell_2 - \omega t$.

Question 3 : Montrer alors que, pour que l'onde résultante $s(M,t) \triangleq s_1(M,t) + s_2(M,t)$ soit maximale, il faut $k\ell_1 - k\ell_2 = n \times 2\pi$ avec $n \in \mathbb{Z}$.

Question 4 : En déduire que $\ell_1 - \ell_2 = n \times \lambda$ pour que l'onde résultante soit maximale.

Question 5 : Supposons à présent que $s_1(M,t)$ soit maximale, mais que $s_2(M,t)$ soit minimale. Que vaut donc $k\ell_2 - \omega t$?

Question 6 : En déduire que, pour que l'onde résultante soit nulle, il faut que $\ell_1 - \ell_2 = (n + \frac{1}{2}) \times \lambda$ avec $n \in \mathbb{Z}$.

Interférences constructives et destructives

Deux ondes de même pulsation ω et de même longueur d'onde λ interfèrent si on peut les retrouver en un même lieu et à un même instant.

On dit que les interférences sont constructives si l'onde résultante est d'amplitude maximale : cela correspond au cas où les deux ondes sont en phase.

On dit que les interférences sont destructives si l'onde résultante est d'amplitude nulle : cela correspond au cas où les ondes sont en opposition de phase.

3 Calcul de la différence de marche

L'étude précédente nous montrer que tout le problème réside dans la valeur de $\ell_1 - \ell_2$.

Différence de marche

On appelle différence de marche δ la valeur $\delta = |\ell_1 - \ell_2|$. Elle correspond à la différence de chemin parcouru entre les deux ondes.

Question 7 : Exprimer ℓ_1 en fonction de a, D et y.

Question 8 : Exprimer ℓ_2 en fonction de a, D et y.

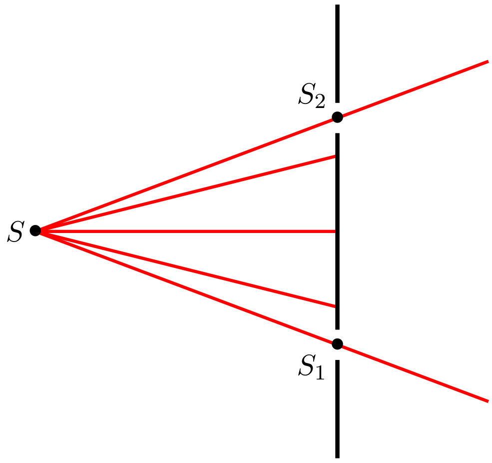
Question 9 : En remarquant que $\ell_1 - \ell_2 = \dfrac{\ell_1^2 - \ell_2^2}{\ell_1 + \ell_2}$, exprimer la différence de marche.

Question 10 : On suppose que $D \gg y$ et $D \gg a$. Comment se simplifie l'expression de la différence de marche ?

Question 11 : En déduire les valeurs de y pour lesquelles on observe des interférences constructives en fonction de a, D, λ.

4 Expérience des fentes d'Young

Expérimentalement, on peut observer des interférences lumineuses en plaçant un laser derrière deux fentes très fines et rapprochées. Ainsi, les sources S_1 et S_2 sont « créées » par la source S réelle du laser.



Question 12 : Il faut donc rajouter aux ondes s_1 et s_2 la distance parcourue entre S et S_1 ou entre S et S_2. Pourquoi cela n'influe-t-il pas le calcul de la différence de marche ?

Question 13 : Quelle est, théoriquement, la distance entre deux franges brillantes consécutives ?

Question 14 : Mesurer, expérimentalement, la distance entre deux franges brillantes consécutives.

Question 15 : En déduire une valeur pour λ. La comparer à la valeur du constructeur $\lambda = 632{,}82\,\mathrm{nm}$.