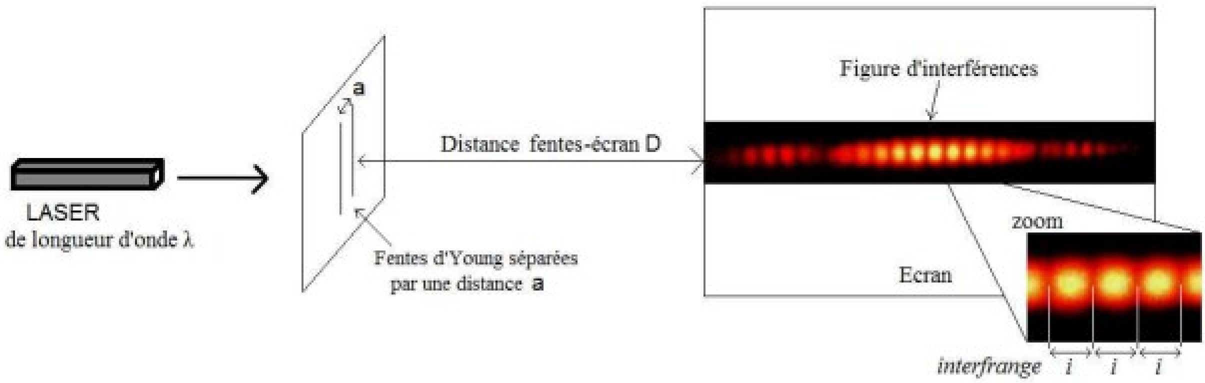
Phénomène d'interférences

I. Contexte historique

En 1801, l'homme de sciences britannique Thomas Young fait passer de la lumière à travers un carton percé de deux ouvertures très proches l'un de l'autre. Il observe alors un phénomène étrange. La figure observée sur un écran placé derrière le carton présente une alternance de franges sombres et de franges clairs.



II. Notion de train d'onde

La lumière peut être décrite, selon les cas, comme une onde ou comme une particule, le photon. Afin de concilier ces deux approches contradictoires, on considère la propagation de la lumière comme une succession de trains d'onde, c'est-à-dire de portions d'onde définis par un début et une fin. Chacun de ces trains d'onde correspond à un photon.

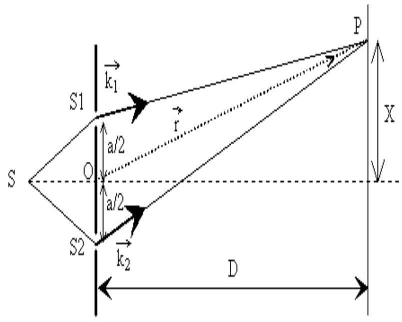
Rq : Cette notion de train d'onde est applicable à tout type d'onde.

III. Synchrone ou cohérent

Lorsqu'une onde est monochromatique, tous les trains d'onde que la source émet ont la même fréquence. On dit que ces trains d'onde sont synchrones. Toutefois, ces trains d'onde présentent généralement un déphasage aléatoire les uns par rapport aux autres.

Par contre, les trains d'onde émis en même temps par une source monochromatique ont tous la même phase. On dit qu'ils sont cohérents.

Pour la suite, on utilisera les notations de la figure ci-contre.



IV. Différence de marche

Lorsqu'on considère un point P sur l'écran, la distance parcourue par deux trains d'ondes cohérents passant respectivement par S_1 et par S_2 n'est pas la même. L'écart de distance parcourue est appelé différence de marche, notée δ.

$$\delta = |SS_1P - SS_2P| = |(SS_1 + S_1P) - (SS_2 + S_2P)|$$

Dans le cas étudié ici, on a $SS_1 = SS_2$

En utilisant une approche géométrique, on obtient :

$$\delta = |S_1P - S_2P| = \left|\sqrt{D^2 + \left(X - \frac{a}{2}\right)^2} - \sqrt{D^2 + \left(X + \frac{a}{2}\right)^2}\right| = \left|\sqrt{D^2\left(1 + \frac{\left(X - \frac{a}{2}\right)^2}{D^2}\right)} - \sqrt{D^2\left(1 + \frac{\left(X + \frac{a}{2}\right)^2}{D^2}\right)}\right|$$

$$\Rightarrow \delta = D\left|\left(1 + \frac{\left(X - \frac{a}{2}\right)^2}{D^2}\right)^{1/2} - \left(1 + \frac{\left(X + \frac{a}{2}\right)^2}{D^2}\right)^{1/2}\right|$$

Le phénomène d'interférences n'est observable qu'à condition que $a \ll D$ et $X \ll D$.
Or on peut montrer mathématiquement l'approximation suivante : $Y \ll 1 \Rightarrow (1+Y)^n \approx 1 + nY$

On peut alors écrire : $\delta = D\left|\left(1 + \frac{\left(X-\frac{a}{2}\right)^2}{2D^2}\right) - \left(1 + \frac{\left(X+\frac{a}{2}\right)^2}{2D^2}\right)\right| = \frac{aX}{D}$

V. Déphasage

En raison de l'existence d'une différence de marche, les deux trains d'ondes partis simultanément de la source S, donc cohérents, présentent un déphasage φ au point P.

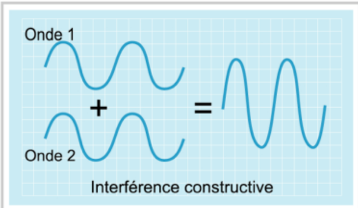
Ce déphasage est proportionnel à la différence de marche : $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\delta$

Dans le cas étudié ici, on a $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{aX}{D}$

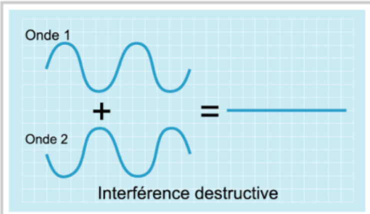
VI. Lumière + lumière = Lumière… ou Obscurité !!!

Parmi l'infinité de situations possibles au point P, deux cas extrêmes peuvent se présenter :

- Les deux trains d'onde présentent un déphasage $\varphi = 0 + 2m\pi$, avec m un entier relatif. L'écran est alors éclairé. On observe des interférences constructives.



- Les deux trains d'onde présentent un déphasage $\varphi = \pi + 2m\pi = (2m+1)\pi$, avec m un entier relatif. L'écran est alors sombre. On observe des interférences destructives.



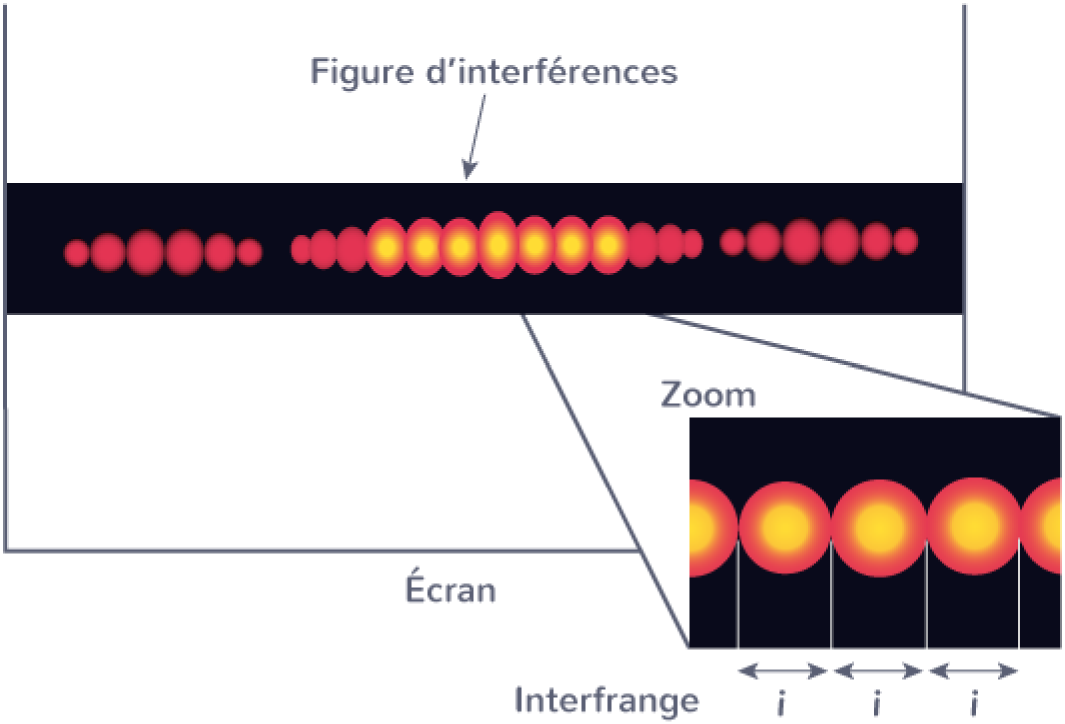
D'où les conditions d'interférences en terme de différence marche :

Comme d'après la relation sur le déphasage on en déduit que $\delta = \frac{\lambda}{2\pi}\varphi$. En remplaçant par les valeurs du déphasage, on trouve qu'il y a :

<u>**interférences constructives**</u> si : $\varphi = 2m\pi$ et donc $\delta = m\lambda$, avec m un entier relatif ;
où le retard $\tau = mT$

<u>**interférences destructives**</u> si : $\varphi = (2m+1)\pi$ et donc $\delta = (2m+1)\frac{\lambda}{2}$, avec m un entier relatif
où le retard $\tau = (2m+1)\frac{T}{2}$

VII. Interfrange



La figure d'interférences observée sur un écran permet, en mesurant la distance entre deux franges claires (ou sombres) consécutives, de déterminer quelques caractéristiques de la lumière utilisée ou des ouvertures traversées. Cette distance est appelée interfrange, et est notée i.

$$i = \frac{\lambda D}{a}$$