

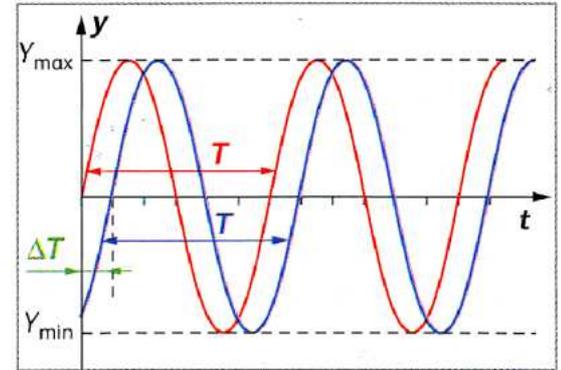
PROPRIETES DES ONDES partie 2 INTERFERENCES

I. Interférences entre deux ondes

1. Sources cohérentes et synchrones

Deux sources sont cohérentes si elles émettent des ondes sinusoïdales de même fréquence et si le retard de l'une par rapport à l'autre ne varie pas au cours du temps : elles gardent alors un déphasage* constant.

* Il existe un déphasage entre deux fonctions sinusoïdales lorsqu'elles sont décalées dans le temps.



11 Les deux fonctions sinusoïdales $y_1(t)$ et $y_2(t)$ présentent un décalage Δt .

Si le déphasage est nul ou multiple de la période, alors des deux courbes sont superposée : elles sont en phase. On parle alors de sources synchrones.

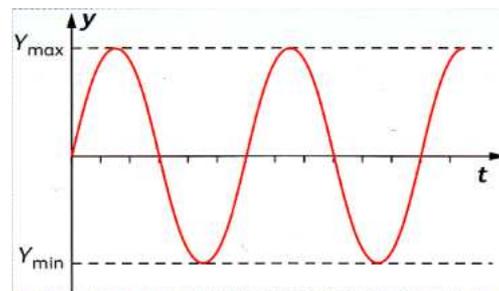
Si le maximum de l'une correspond au minimum de l'autre alors les deux courbes sont en opposition de phase.

Nous supposons par la suite que nous utiliserons uniquement des sources synchrones.

2. Superposition de deux ondes et interférences

Lorsque deux ondes sinusoïdales cohérentes se superposent en un point M, l'élongation* résultant est la somme des élongations en ce point : on dit que les ondes interfèrent au point M.

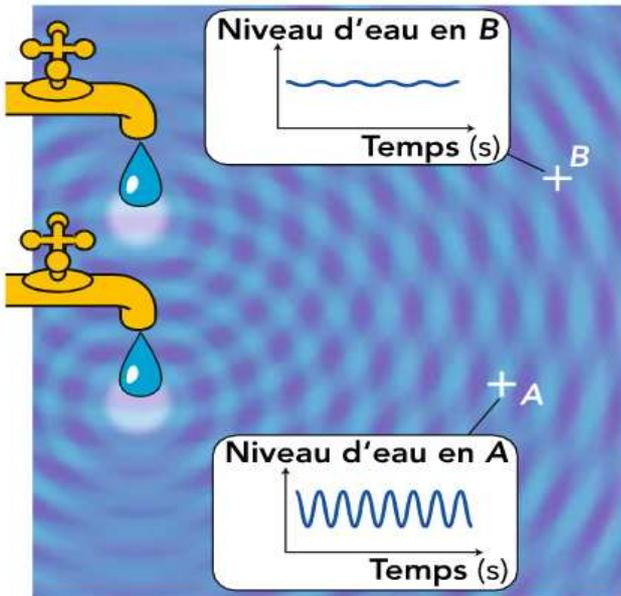
* L'élongation $y(t)$ d'une fonction sinusoïdale est la valeur de cette fonction à l'instant t . Elle vérifie $y_{\min} \leq y(t) \leq y_{\max}$, l'amplitude étant défini par $\frac{y_{\max} - y_{\min}}{2}$.



Il y a interférence en tout point d'un milieu où deux ondes cohérentes (de même fréquence) se superposent. L'élongation résultante en un point est la somme des élongations des deux ondes en ce point.

II. Interférences constructives et destructives

1. Visualisation d'une figure d'interférence :



Doc. 8 Interférences constructives (point A) et destructives (point B) à la surface de l'eau. Les graphiques montrent l'évolution de l'élongation au cours du temps.

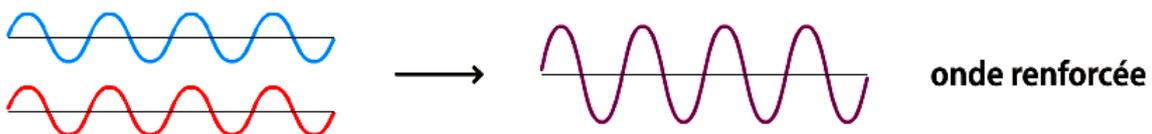
2. Principe

Une onde monochromatique peut-être modélisée par une succession de crêtes et de creux, c'est-à-dire une fonction sinusoïdale prenant alternativement des valeurs positives et négatives.

On considère deux ondes monochromatiques de même longueur d'onde se superposant :

- si les creux et les crêtes coïncident, les ondes se renforcent : elles sont en phase et l'on parle d'interférence constructive.
- si un creux de l'une coïncide avec une crête de l'autre, les ondes s'annulent: elles sont en opposition de phase et l'on parle d'interférence destructive.

Interférences constructives : les ondes sont décalées de $k \cdot \lambda$ (k entier)



Interférences destructives : les ondes sont décalées de $(k + \frac{1}{2}) \cdot \lambda$ (k entier)

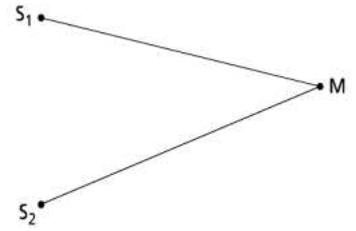


Les interférences de deux ondes monochromatiques cohérentes sont dites :

- **constructives si elles sont en phase (l'onde résultante est amplifiée)**
- **destructive si elles sont en opposition de phase (elles s'annulent)**

3. Différence de marche

Les deux ondes qui interfèrent sont émises simultanément par chacune des sources et parcourent des chemins différents pour parvenir à un endroit donné du milieu.



La différence entre les distances parcourue par les deux ondes issues de sources synchrones qui interfèrent en un point M est appelée différence de marche noté δ
($\delta = S_2M - S_1M$)

Dans le cas particulier d'un point M ou δ est un multiple entier k de la longueur d'onde λ , le retard d'une onde par rapport à l'autre est égal à un nombre entier de périodes, si bien que les deux ondes sont en phases en ce point M. Ainsi, les deux ondes ont des amplitudes maximale en même temps, ce qui rend également maximale l'amplitude de leur superposition : les interférences sont constructives.

Inversement, si la différence de marche au point M est un multiple impaire de la demi longueur d'onde (nombre entier de longueurs d'ondes additionné d'une demi-longueur d'onde), les interférences sont destructives

A un point M, l'interférence de deux ondes de longueur d'onde λ est :

→ **constructive** si $\delta = k \cdot \lambda$

→ **destructive** si $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$

avec k un entier

3. Déphasage

Soit les deux même sources S_1 et S_2 précédente ;

Un point M du milieu de propagation subit simultanément les vibrations :

- de la source S_1 avec un retard τ_1 (qui dépend de sa distance à la source S_1)
- de la source S_2 avec un retard τ_2 (qui dépend de sa distance à la source S_2)

Si au point M la différence des retards $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ est nulle ou multiple de la période T, les deux ondes arrivent en phase et l'amplitude de l'onde résultante est maximale

Si, au contraire, au point M la différence des retards $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ est un multiple impaire de la demi-période T, les deux ondes arrivent en opposition de phase et l'amplitude de l'onde résultante est minimale ou nulle

A un point M, l'interférence de deux ondes de période T est :

→ **constructive** si $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = k \cdot T$

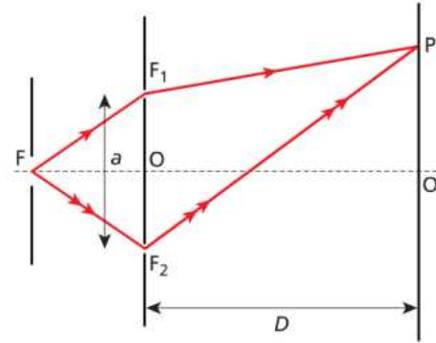
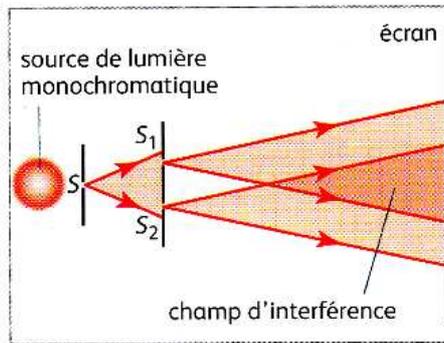
→ **destructive** si $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot T$

avec k un entier

III. Cas des interférences lumineuses

1. Comment obtenir des sources synchrones ?

Le cas des ondes lumineuses est particulier car le mode d'émission de la lumière par une source ne permet pas de former plusieurs sources synchrones séparées. C'est pourquoi les interférences lumineuses sont créées en divisant l'onde émise par une seule source, de sorte qu'elles prennent deux trajets différents, créant ainsi une différence de marche entre les deux ondes secondaires formées. Le dispositif des fentes d'Young permet d'y parvenir :



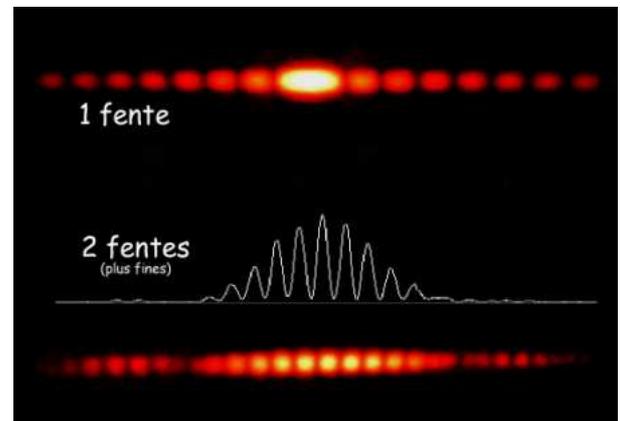
Une fente de petite dimension diffracte la lumière d'une source monochromatique : cette fente joue alors le rôle d'une source S de lumière monochromatique et éclaire 2 fentes très proches l'une de l'autre. Ces deux fentes se comportent comme deux sources S₁ et S₂ synchrones. Les deux faisceaux diffractés interfèrent dans leur partie commune.

Remarque : lorsque la source lumineuse est un laser la première fente n'est pas indispensable.

2. Franges d'interférences

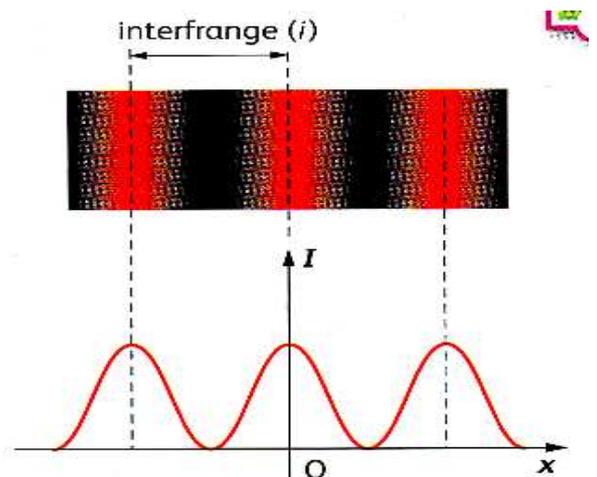
Sur un écran (placé de manière orthogonale par rapport à l'axe de symétrie du système) on observe une succession de franges équidistantes alternativement sombres et brillantes. Ces franges sont dues à la superposition des ondes provenant des deux sources.

- les franges brillantes correspondent aux interférences constructives
- Les franges sombres correspondent aux interférences destructives



La distance qui sépare les milieux de deux franges consécutives de même nature est appelé interfrange « i »

$$i = \frac{\lambda D}{a} \begin{cases} \lambda : \text{longueur d'onde dans le milieu (m)} \\ D : \text{distance entre les fentes et l'écran (m)} \\ a : \text{distance entre le milieu des deux fentes (m)} \\ i : \text{interfrange (m)} \end{cases}$$



APPLICATION Établir l'expression de l'interfrange en supposant que $D \gg a_{1-2}$ et $D \gg x$ (figure 17).

Réponse. Calculons la différence de marche pour le point M en utilisant le théorème de Pythagore dans les triangles S_1H_1M et S_2H_2M :

$$d_2^2 = D^2 + \left(x + \frac{a_{1-2}}{2}\right)^2 \text{ et } d_1^2 = D^2 + \left(x - \frac{a_{1-2}}{2}\right)^2;$$

$$d_2^2 - d_1^2 = \left(x + \frac{a_{1-2}}{2}\right)^2 - \left(x - \frac{a_{1-2}}{2}\right)^2;$$

$$d_2^2 - d_1^2 = \left(x + \frac{a_{1-2}}{2} + x - \frac{a_{1-2}}{2}\right) \left(x + \frac{a_{1-2}}{2} - x + \frac{a_{1-2}}{2}\right) = 2x a_{1-2};$$

$$d_2^2 - d_1^2 = (d_2 - d_1)(d_2 + d_1) = 2\delta D \text{ car } 2D \approx d_1 + d_2;$$

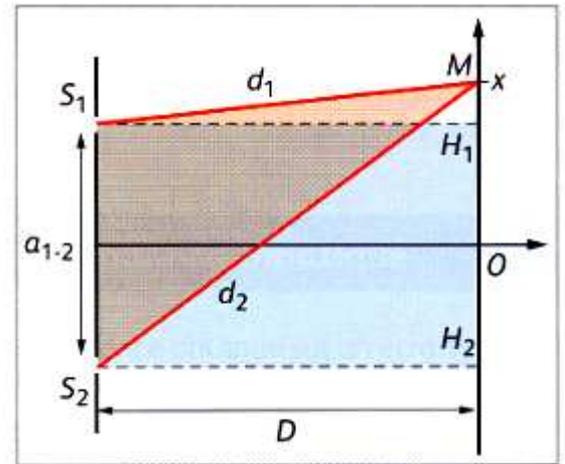
$$2D\delta = 2x a_{1-2} \text{ donc } \delta = \frac{x a_{1-2}}{D}.$$

Le point M est au centre d'une frange brillante si la différence de marche est un multiple entier de la longueur d'onde $\delta = k\lambda$.

$$k\lambda = \frac{x a_{1-2}}{D} \Rightarrow x = \frac{k\lambda D}{a_{1-2}}$$

Entre deux franges brillantes consécutives, il y a donc:

$$i = \frac{(k+1)\lambda D}{a_{1-2}} - \frac{k\lambda D}{a_{1-2}} = \frac{\lambda D}{a_{1-2}}$$

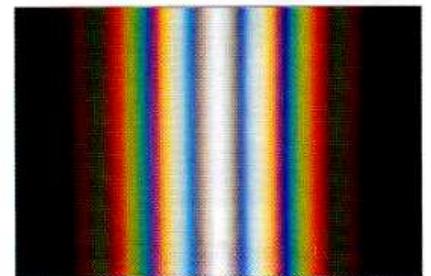


Remarque. La longueur d'onde λ , qui intervient dans toutes les relations précédentes, est la longueur d'onde dans le milieu traversé. Dans l'air, dont l'indice n est très voisin de l'unité, on confond λ et λ_0 , longueur d'onde dans le vide.

Dans un autre milieu que l'air, comme $n = \frac{c}{v}$ et $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$, la relation dans le cas des interférences constructives devient:
 $nd_2 - nd_1 = k\lambda_0$, avec $k \in \mathbb{Z}$

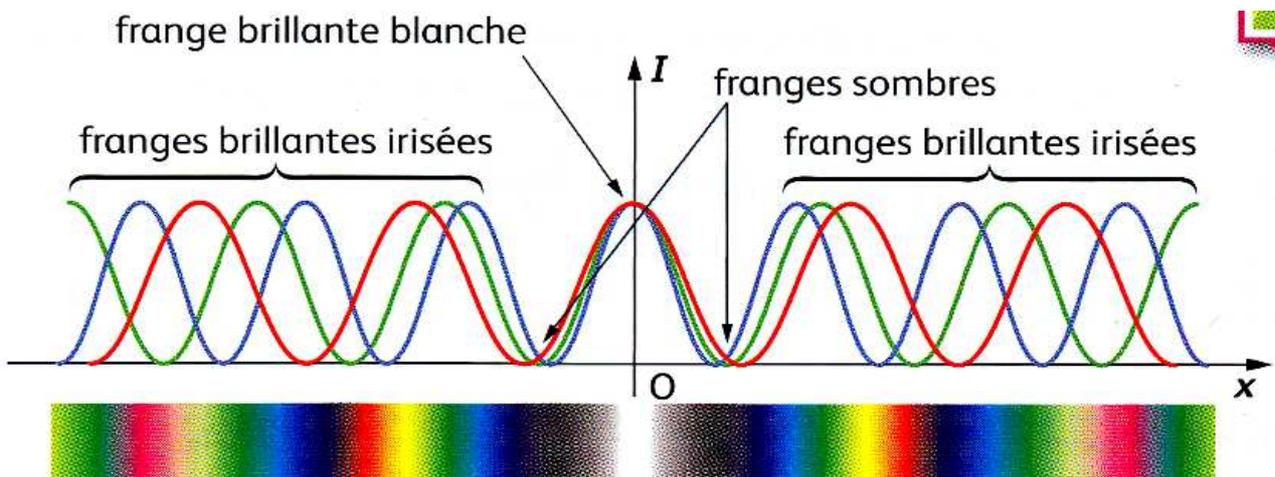
3. interférence Lumière blanche

La lumière blanche émise par une source est formée d'une infinité de radiations monochromatiques de couleurs différentes. Chaque radiation forme une figure d'interférence, mais des radiations de fréquences différentes n'interfèrent pas entre elles : la figure d'interférence observée est donc l'addition des figures d'interférence de toutes les radiations.



i étant lié à λ , les radiations de longueur d'onde différente interfèrent différemment, les figures d'interférences de chaque radiation se superposent.

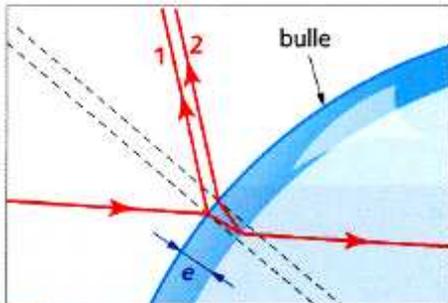
En simplifiant, on peut restreindre la lumière blanche à la superposition d'une lumière rouge, verte et bleue : les courbes ci-dessous montrent que les différentes radiations se superposent



4. Couleurs interférentielles

Certains objets ont des couleurs vives qui varient suivant l'angle sous lequel on les regarde. C'est le cas des ailes de certains papillons, des bulles de savon, des taches d'huile sur un sol mouillé ou encore des couches anti-reflets des objectifs photographiques.

Toutes ces couleurs ont une origine commune : des **interférences destructives**.



20 Réflexion de la lumière dans une bulle de savon.

A Couleurs d'une bulle de savon

Lorsqu'un rayon de lumière arrive sur une bulle, il subit de multiples réflexions sur les deux faces extérieure et intérieure de la bulle (**figure 20**). Seuls les deux premiers rayons réfléchis 1 et 2 ont une intensité lumineuse non négligeable et très voisine. Ces deux rayons, issus de la même source peuvent interférer.

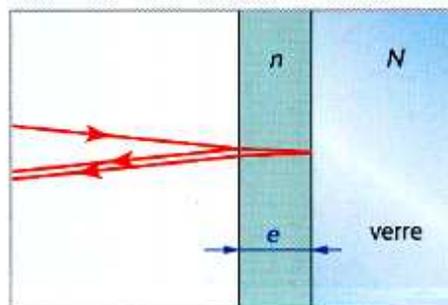
La différence de marche dépend de l'épaisseur de la bulle, qui n'est pas uniforme, et de l'angle d'incidence. Pour certaines longueurs d'onde, l'interférence est destructive. La lumière réfléchi n'est plus blanche mais colorée.

B Filtres interférentiels

Les filtres interférentiels sont des lames qui fonctionnent sur le même principe qu'une bulle de savon : la lame, dont les faces sont planes et sont recouvertes d'une couche à fort pouvoir réfléchissant, a une épaisseur e rigoureusement constante.

Compte tenu du traitement des faces, le nombre de rayons qui interfèrent est très important, en transmission comme en réflexion.

Le choix de l'épaisseur e permet de rendre ces filtres interférentiels très sélectifs en créant des interférences constructives pour une seule valeur du produit $k\lambda$. Ainsi, la lumière qui traverse ces filtres interférentiels est pratiquement monochromatique.



21 Couche anti-reflet.

C Couche anti-reflet

C'est une couche transparente d'épaisseur e qui est placée sur les lentilles d'un objectif ou sur les verres correcteurs de lunettes (**figure 21**).

En incidence normale, la différence de marche vaut $2ne$. L'épaisseur e est choisie pour donner des interférences destructives pour les longueurs d'onde situées au milieu du spectre visible (plus grande sensibilité de l'œil).