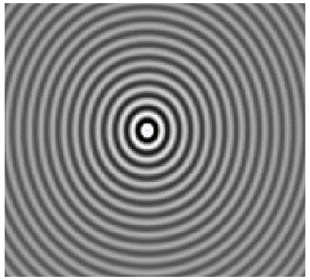
Résumé

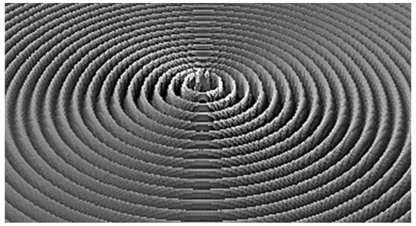
Interférences à deux ondes

Ondes mécaniques sur la cuve à ondes – Visualisation de l'amplitude

1ère année

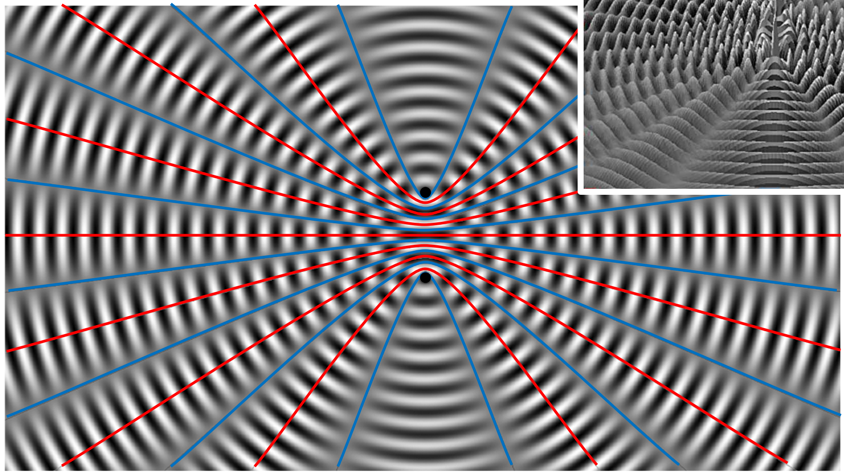
Une seule source

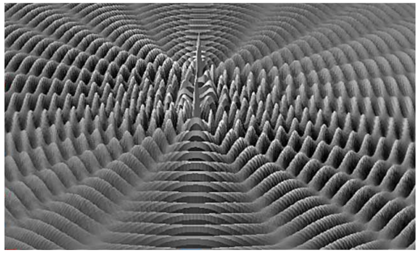


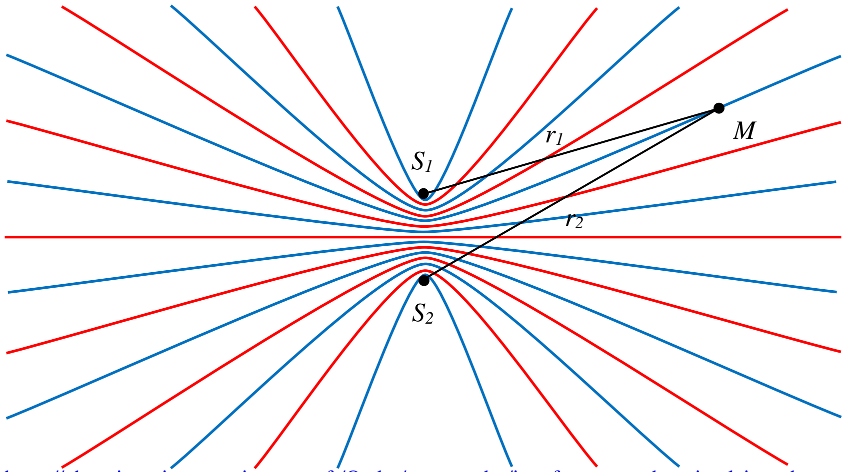


https://www.falstad.com/ripple/

Deux sources







https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/cuve_ondes/interference_ondes_circulaires.php

Les interférences – Une superposition d'ondes

1ère année

En première année, l'étude des ondes à la surface de l'eau et l'étude des ondes ultrasonores sont conduites dans des conditions expérimentales analogues :

- les deux sources / émetteurs S_1 et S_2 sont de petite dimension à l'échelle du domaine d'observation, elles sont donc assimilables à des ***sources ponctuelles*** ;
- les deux sources sont issues d'une source unique ***sinusoïdale*** (1 vibreur à 2 pointes ou un unique GBF), elles ont donc ***même pulsation*** (même fréquence) et sont en ***phase***.

Les interférences résultent de la superposition des ondes crées par les deux sources.
En un point d'observation M, les deux sources S_1 et S_2 créent les signaux $s_1(M, t)$ et $s_2(M, t)$.
Le signal résultant en M est la ***somme*** de ces deux signaux : $s(M, t) = s_1(M, t) + s_2(M, t)$.

Les interférences - Une histoire de déphasage

1&2ème année

Déphasage dû à la propagation

On envisage des OPPH et on néglige l'atténuation éventuelle pendant la propagation.

Les signaux ***émis*** par les sources S_1 et S_2 monochromatiques de mêmes fréquences supposées en phase sont :

$$S_{1m}\cos(\omega t) \quad \text{et} \quad S_{2m}\cos(\omega t).$$

Elles parviennent en **M** avec un retard de phase dû à la propagation (cf. Ondes et optique) :

$$\varphi_1 = \qquad\qquad \text{et} \quad \varphi_2 = \qquad\qquad .$$

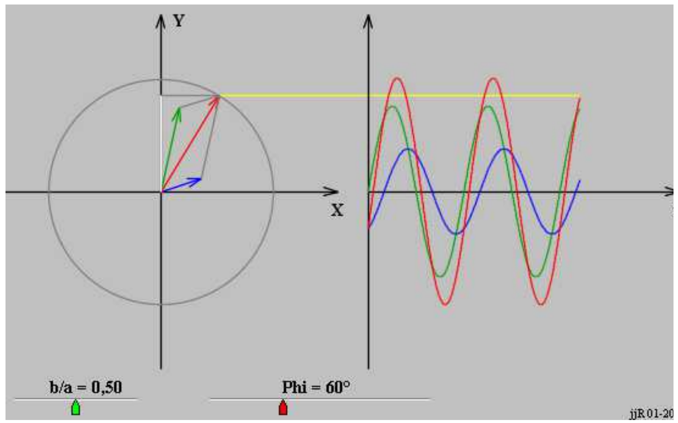
Les ondes ***reçues au point d'observation*** M sont alors :

$$s_1(t) = \qquad\qquad \text{et} \quad s_2(t) = \qquad\qquad .$$

Le signal résultant en M est : $s(t) = s_1(t) + s_2(t)$ et les ondes sont ***déphasées*** de $\varphi(M) = \varphi_1 - \varphi_2$.

L'utilisation des ***vecteurs de Fresnel*** permet de déduire les conditions pour obtenir :

- un maximum d'amplitude (interférences constructives)
- un minimum d'amplitude (interférences destructives).



http://subaru.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/electri/repfresnel.html

Déphasage – Différence de marche

Le ***déphasage*** entre les deux ondes issues de deux sources S_1 et S_2 se superposant au point d'observation M est donc :

$$\varphi(M) =$$

Où $\delta(M) =$ est la ***différence de marche*** au point *M*.

Interférences constructives et destructives

- ✓ On observe des ***interférences constructives*** (signal $s(t)$ d'amplitude maximum $S_{1m} + S_{2m}$) lorsque les signaux $s_1(t)$ et $s_2(t)$ sont en

  φ(M) = ou encore φ(M) = avec *k* entier.

  Interférences constructives ⇔ δ(M) = avec *k* entier

- ✓ On observe des ***interférences destructives*** (signal $s(t)$ d'amplitude minimum $|S_{1m} - S_{2m}|$) lorsque les signaux $s_1(t)$ et $s_2(t)$ sont en

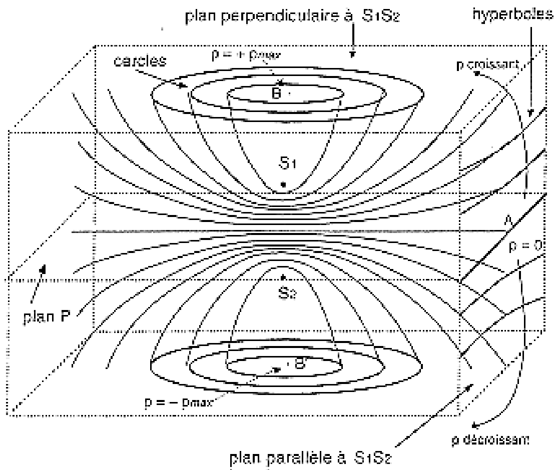
  φ(M) = ou encore φ(M) = avec *k* entier.

  Interférences destructives ⇔ δ(M) = avec *k* entier

Lieu des points d'interférences constructives

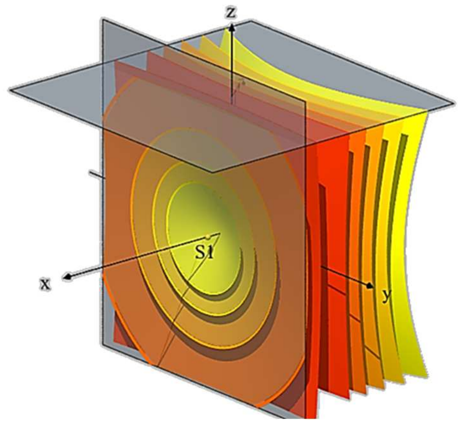
Le lieu des points de ***même différence de marche*** (donc de ***même état d'interférence***) est le lieu des points M tels que $S_2M - S_1M = cte$ qui décrit un ***hyperboloïde***.

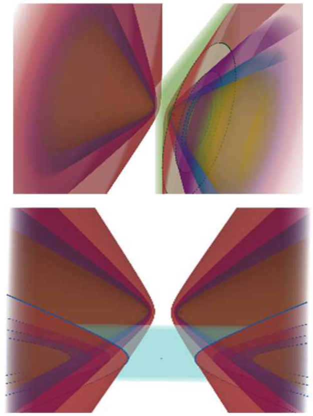
Donc, ***selon la position de l'écran***, on pourra observer des hyperboles, des ***cercles*** ou des portions d'hyperboles assimilables à des ***droites*** dans une petite région de l'espace.



La forme des franges obtenues dépend donc de la position de l'écran d'observation par rapport à l'axe (S_1S_2) des sources :

- si ***l'écran est parallèle à (S_1S_2)***, on obtient des franges hyperboliques assimilables à des ***droites*** ***à (S_1S_2)*** dans une petite région de l'espace ;
- si ***l'écran est orthogonal à (S_1S_2)***, on obtient des ***franges circulaires*** concentriques.





Modèle scalaire des ondes lumineuses

2ème année

Dans le cadre de l'optique ondulatoire, on établit que les ondes lumineuses sont des ***ondes électromagnétiques***. La puissance surfacique associée à une telle onde est liée au vecteur de Poynting $\vec{\Pi}$ (cf. électromagnétisme).

On admet que seul le ***champ électrique*** $\vec{E}$ est perçu par les détecteurs courants (œil, cellules photoélectriques…).

Dans toute la suite, on négligera le caractère vectoriel (i.e. on néglige la polarisation des ondes). On assimilera donc les ondes lumineuses à une grandeur vibratoire ***scalaire*** $s(t)$ (qui pourrait être la valeur algébrique du champ électrique d'une onde polarisée rectilignement).

Intensité

2ème année

On montre que ***l'intensité moyenne I en Wm⁻²*** (sur une durée correspondant au temps de réponse du récepteur) d'une onde lumineuse est proportionnelle à $\langle \|\vec{\Pi}\| \rangle$ elle-même proportionnelle à $\langle E_m^2 \rangle$ c'est-à-dire à $\langle s^2(t) \rangle$.

On écrira donc fréquemment sans se soucier du coefficient de proportionnalité :

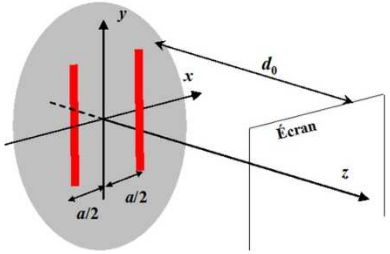
$I(\mathrm{M}) = K \langle s^2(t) \rangle$ en ***notation réelle*** (avec souvent $K = 1$ pour simplifier davantage).

$I(M) = K \underline{s}\,\underline{s}^*$ à partir de l'expression ***complexe*** de $s(t)$.

Les interférences à deux ondes en optique - Visualisation de l'intensité

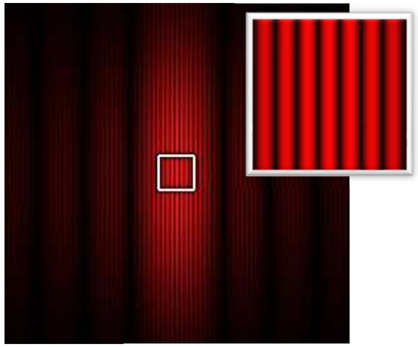
Il existe différents types d'interféromètres, voici les figures d'interférences obtenues avec deux d'entre eux.

Fentes d'Young
(interféromètre par division du front d'onde)

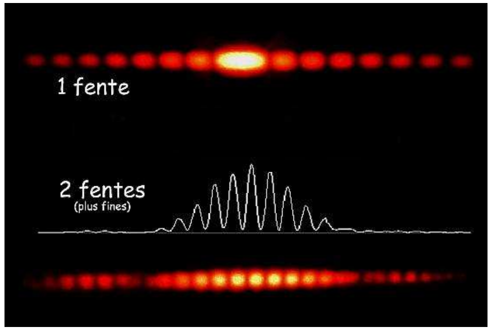


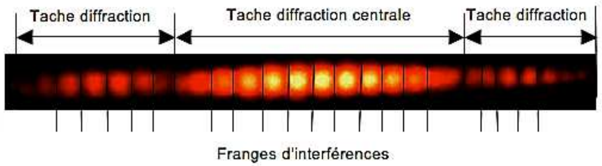
La diffraction module la figure d'interférence :

Avec élargisseur de faisceau

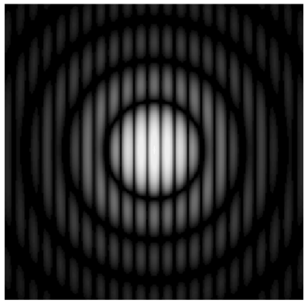


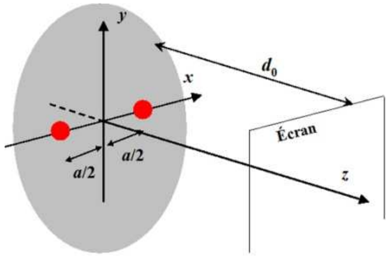
Sans élargisseur de faisceau





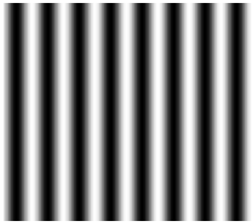
Trous d'Young



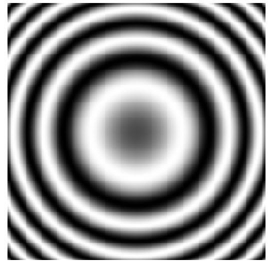


Interféromètre de Michelson
(interféromètre par division d'amplitude)

Réglage en « coin d'air »



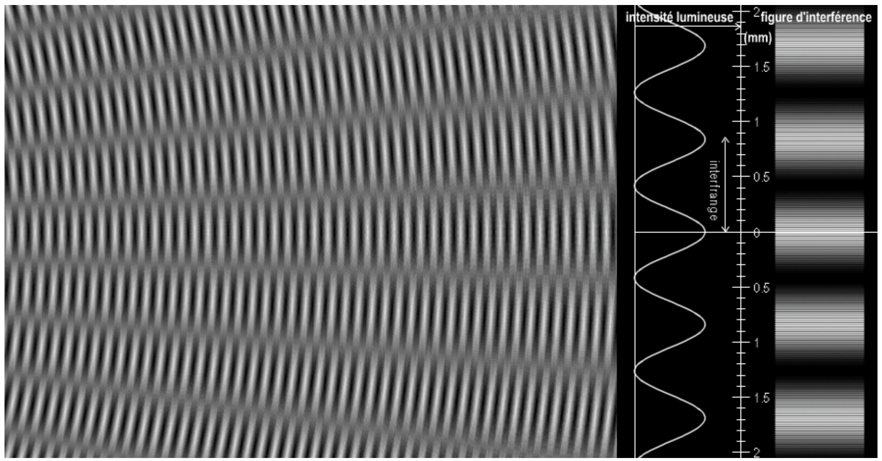
Réglage en « lame d'air »



Représentations / simulations – Applets

Sur la simulation ci-dessous, plusieurs représentations coexistent :

- la représentation de l'amplitude (cf. cuve à ondes) ;
- le tracé de la courbe mathématique *I(x)* où *x* est l'abscisse sur l'écran ;
- l'aspect des franges d'interférences sur l'écran.



Interférences à deux ondes (sources cohérentes) – Écran parallèle aux sources

Sources ***cohérentes*** : sources capables d'interférer (obtenues par dédoublement d'une unique source S ponctuelle monochromatique) (cf. infra).

Interfrange i

✓

✓

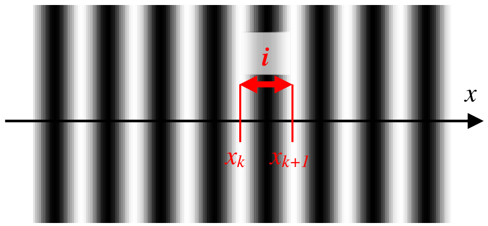
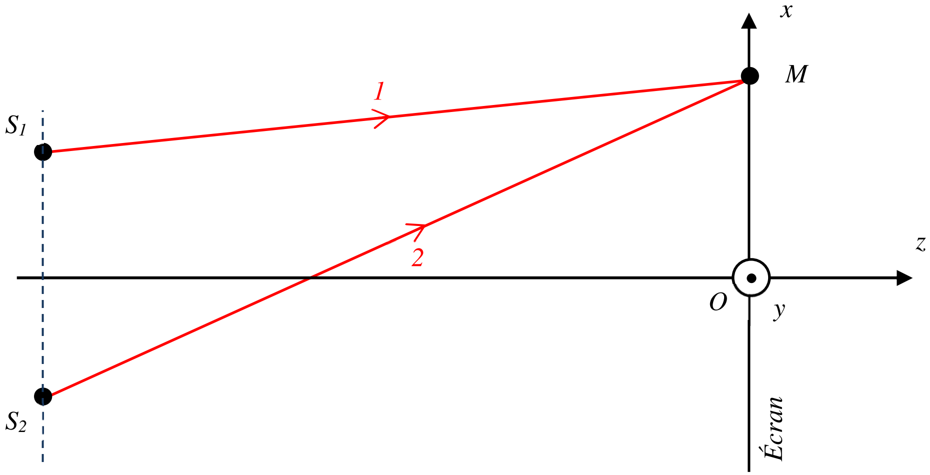


Schéma de principe - Notations

Hypothèses : S_1 et S_2 sources ponctuelles monochromatiques ($\omega_1 = \omega_2 = \omega$) cohérentes.



Ondes reçues en M : $s_1(t) = S_{1m}\cos\left(\omega t + \varphi_{S_1M} + \varphi_{S_1}\right)$ avec $\varphi_{S_1M} =$

$s_2(t) =$ avec $\varphi_{S_2M} =$

En notation complexe : $\underline{s}_1(t) = S_{1m}e^{j\phi_1}e^{j\omega t}$ où $\phi_1 =$

$\underline{s}_2(t) = S_{2m}e^{j\phi_2}e^{j\omega t}$ où $\phi_2 =$

Intensités : $I_1(M) =$ et $I_2(M) =$

Formule de Fresnel

Formule de Fresnel

Avec deux sources S_1 et S_2 ponctuelles monochromatiques ***cohérentes***, l'amplitude résultante est la ***somme des amplitudes*** de chaque source.

L'onde résultante est $\underline{s}(t) =$ et son intensité est $I(M) =$

- L'intensité dans le plan d'observation est alors :

$$I(M) =$$

Où $\varphi(M) =$ est le déphasage entre les deux ondes en M.

Et $\delta(M) =$ la différence de marche.

- Avec deux sources ***incohérentes***, l'intensité résultante est la ***somme des intensités*** de chaque source (deux lampes ne créent pas d'interférences) :

  $I(M) =$ (terme d'interférence nul).

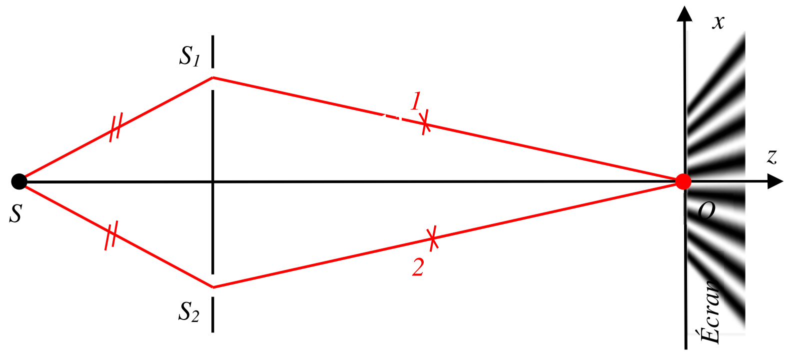
  L'éclairement est

Cas particulier :

Sources cohérentes en phase ( ) et de ***même amplitude*** ($S_{1m} = S_{2m} \Rightarrow \boldsymbol{I_1 = I_2 = I_0}$)

L'intensité s'écrit alors : $I(M) =$ où $\varphi(M) =$.

En pratique, ces conditions sont vérifiées lorsque les sources S_1 et S_2 sont des trous de même diamètre éclairés par une ***unique source S*** équidistante de S_1 et S_2 (sources secondaires dérivées d'une unique source primaire) :



Les sources étant en phase, la ***frange au centre de l'écran*** correspond à une frange

Contraste

Contraste (ou **visibilité**) du phénomène d'interférences : $C = \dfrac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$.

Avec $I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\varphi(M)$:

$I_{max} =$ et $I_{min} =$ $\Rightarrow C =$

Le contraste C est maximum pour **et C_{max} =** **(et alors I_{min} =**).

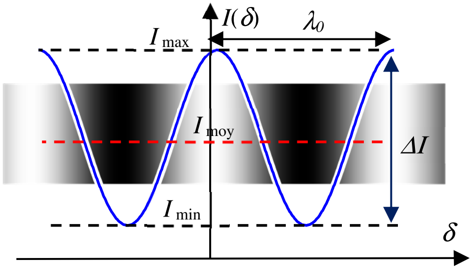
Expression de l'éclairement en fonction du contraste :

$I(M) =$

Sources d'amplitudes différentes

Si les amplitudes des deux sources sont différentes, l'éclairement minimum n'est pas nul on parle alors de frange sombre et non de frange noire (ci-contre) : le contraste est plus faible.

Rq : $C = \dfrac{\Delta I/2}{I_{moy}} = \dfrac{\text{écart par rapport à } I_{moy}}{I_{moy}}$



Évolution de l'éclairement et de l'aspect des franges en fonction du contraste C