OPTIQUE ONDULATOIRE — INTERFERENCE

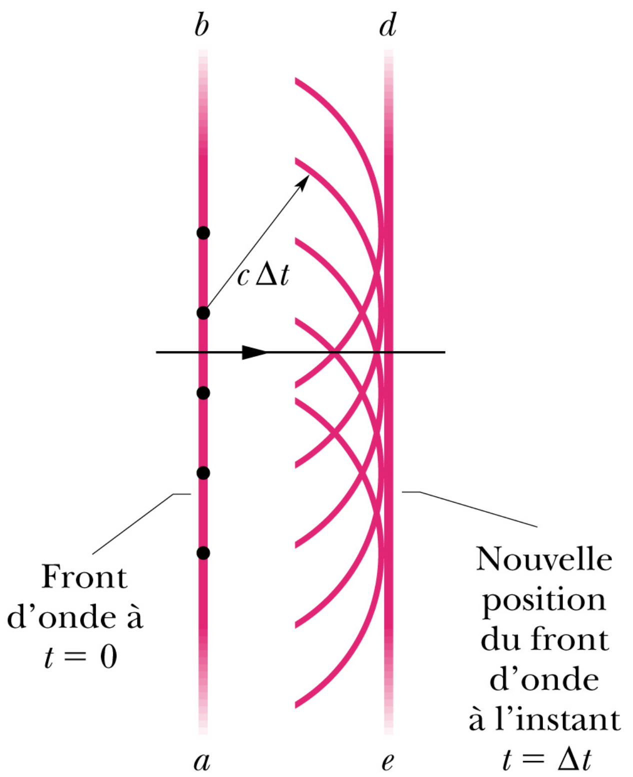
Les bulles de savon, les plaques d'huile peuvent prendre des couleurs chatoyantes ; ceci n'est pas dû à la réfraction comme pour l'arc-en-ciel, mais à des interférences constructives et destructives de la lumière. Les ondes qui interfèrent peuvent soit renforcer ou supprimer certaines couleurs dans le spectre de lumière incident.

Quand la lumière rencontre une surface de verre, $\sim 4\%$ de l'énergie incidente est réfléchie, ayant pour conséquence de diminuer d'autant le faisceau transmis. Cette perte de lumière peut être un sérieux problème pour des instruments optiques utilisant beaucoup de composants (lentilles etc..). En déposant une couche mince et transparente sur la surface du verre, on peut réduire la quantité de lumière réfléchie (donc augmenter celle transmise) par des interférences destructives dans cette couche mince.

Pour comprendre ces interférences, on doit faire appel à l'optique ondulatoire. En fait, comme on va le voir, l'existence des phénomènes d'interférence est peut-être la preuve la plus convaincante que la lumière est une onde, car on ne peut pas expliquer ces phénomènes autrement.

La nature ondulatoire de la lumière

Le physicien danois Christiaan Huygens fut le premier, en 1678, à proposer de manière convaincante une théorie ondulatoire de la lumière. Cette théorie, beaucoup plus simple du point de vue mathématique que la théorie de Maxwell, permet d'expliquer les lois de réflexion et de réfraction à partir du concept d'onde, et de définir l'indice de réfraction du point de vue de la physique.



Démo 323

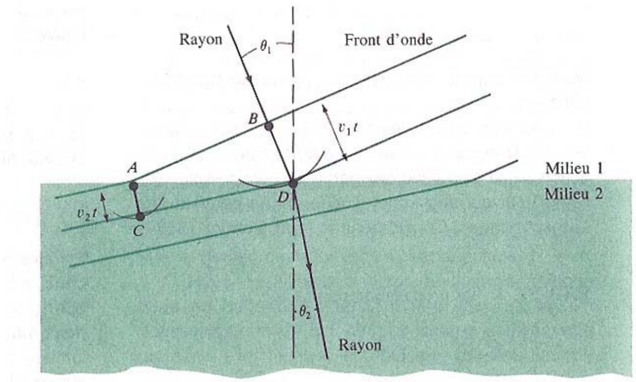
La théorie ondulatoire de la lumière de Huygens repose sur une construction géométrique qui permet de prédire où se trouvera, en tout temps, un front d'onde donné si on connait sa position actuelle.

Le principe de Huygens : **tous les points d'un front d'onde servent de points sources à de petites ondes secondaires sphériques**. Après un temps t, la nouvelle position du front d'onde sera celle de la surface tangente à ces ondes secondaires.

Le plan de est parrallèle au plan ab et se trouve à une distance perpendiculaire $c\Delta t$ de ce dernier.

Loi de la réfraction : loi de Snell-Descartes

On va utiliser le principe de Huygens pour dériver la loi de Snell-Descartes. Soit AB le front d'onde incident. Les points A et B donnent des ondelettes représentées en C et D. Comme le front d'onde est tangent à ces ondelettes, le nouveau front d'onde est donc le segment de droite CD. Les 2 triangles rectangles ABD et ACD ont une hypothénuse commune (AD), alors :



$$\frac{1}{AD} = \frac{\sin\theta_i}{BD} = \frac{\sin\theta_t}{AC}$$

avec $BD = v_i \Delta t$ et $AC = v_t \Delta t$, d'où

$$\frac{\sin\theta_i}{v_i} = \frac{\sin\theta_t}{v_t}$$

L'indice de réfraction, n de chaque milieu est défini comme le rapport entre la vitesse de la lumière et la vitesse v de la lumière dans le milieu (page 23-5), soit n=c/v. Ce qui donne ici :

$$n_i = \frac{c}{v_i} \quad \text{et} \quad n_t = \frac{c}{v_t}$$

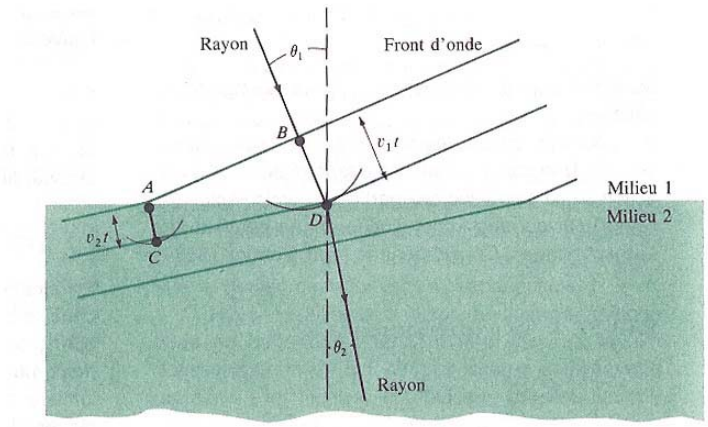
Multiplions les 2 membres de l'équation du milieu par c, nous trouvons :

$$n_i \sin\theta_i = n_t \sin\theta_t$$

Longueur d'onde et Indice de réfraction

Les courbes reliant, de proche en proche, les points d'une onde qui ont le même état de vibration (c-à-d qui sont en phase) sont des **fronts d'onde**. La distance entre les fronts d'onde est donc égale à la longueur d'onde

$$\frac{\lambda_t}{\lambda_i} = \frac{v_t t}{v_i t} = \frac{v_t}{v_i} = \frac{n_i}{n_t}$$



Si le milieu incident est le vide (ou l'air), alors $n_i = 1, v_i = c$ et nous pouvons appeler λ_i simplement λ ; ainsi la longueur d'onde dans un autre milieu d'indice $n (= n_t)$ vaut :

$$\lambda_t = \lambda_i \frac{n_i}{n_t} = \frac{\lambda}{n} \quad \text{soit} \quad \lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

Qu'en est-il de la fréquence de la lumière ?

Soit f_n la fréquence de la lumière dans un milieu d'indice n. On peut écrire

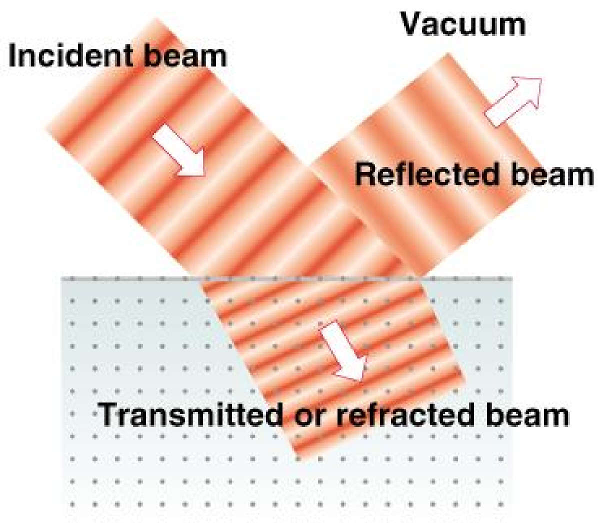
$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{c/n}{\lambda/n} = \frac{c}{\lambda} = f$$

La fréquence dans n'importe quel milieu est la même que dans le vide

Loi de la réfraction : loi de Snell-Descartes

Cette figure illustre les 3 changements importants que subit le faisceau en traversant l'interface :

- **Il change de direction** : la partie du front d'onde qui atteint le verre ralentit
- **La conservation de l'énergie** implique que la puissance lumineuse incidente sur l'unité de surface est égale à la somme des puissances réfléchie et réfractée
- **La longueur d'onde diminue** ; la fréquence reste inchangée tandis que la vitesse et la longueur d'onde sont différents dans un milieu comparativement à ce qu'ils sont dans le vide.



$$f = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{c}{\lambda}$$

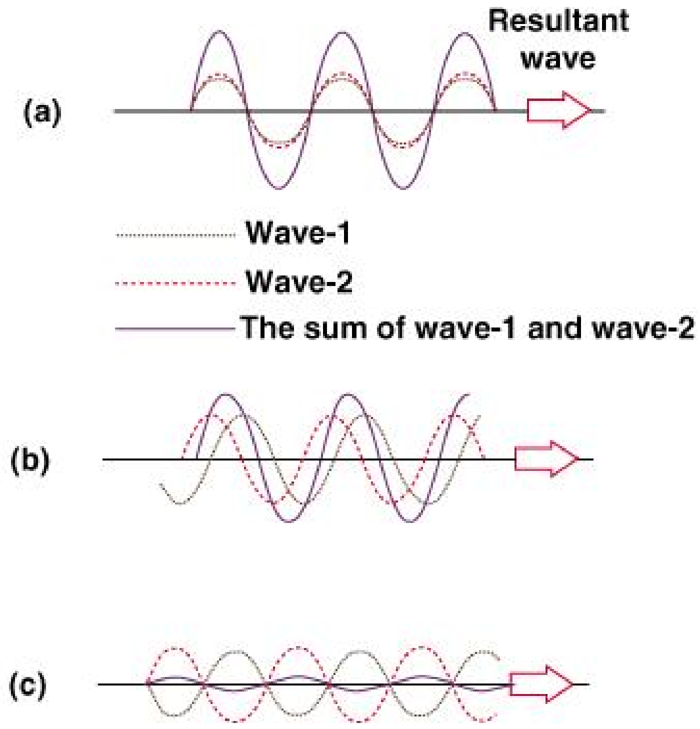
$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n} = \lambda\frac{v}{c}$$

Rappel de la notion d'interférence

L'interférence est la superposition de deux ou de plusieurs ondes, produisant une onde résultante, la somme des ondes qui interfèrent.

Soit deux ondes sinusoïdales de même fréquence qui se progagent dans la même direction

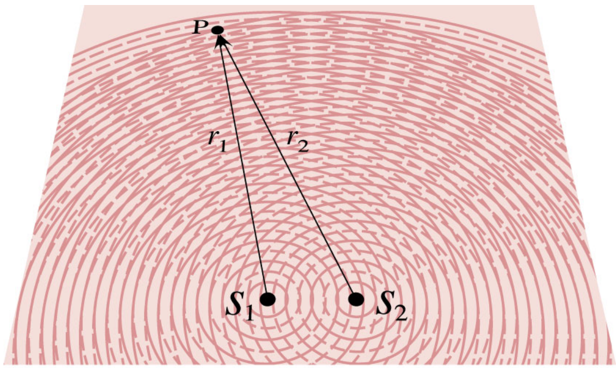
- (a) Ondes en phase $\longrightarrow$ interférence constructive et l'onde résultante est grande
- (b) Ondes un peu déphasées $\longrightarrow$ l'onde résultante diminue
- (c) Ondes en opposition de phase (déphasage, $\delta = 180°$) ou décalées de $\lambda/2$ $\longrightarrow$ interférence destructive et l'onde résultante a sa plus faible amplitude.



(Voir page 11-23 pour les interférences).

Interférences de 2 sources lumineuses

Soit 2 sources ponctuelles et identiques, S_1, S_2 émettant des ondes sphériques identiques. Elles atteignent tout point P et interfèrent. La différence de phase (δ) entre les 2 ondes, telles qu'elles arrivent en P, détermine comment elles interfèrent. δ dépend de la différence entre les chemins optiques parcourus (page 24-5) par les 2 ondes, ou plutôt ici des chemins puisque les 2 ondes se propagent dans le même milieu.



- Si la différence de marche en P est un multiple de λ, soit

$$(r_1 - r_2) = m\lambda \qquad \text{avec} \qquad m = 0, \pm 1, \pm 2..$$

le déphasage vaut $\delta = 0, 2\pi, ..$ et l'interférence est constructive et l'intensité lumineuse est maximum.

- Si la différence de marche en P est un multiple demi-entier de λ, soit

$$(r_1 - r_2) = m'(\frac{1}{2}\lambda) = (m + \frac{1}{2})\lambda \qquad \text{avec} \qquad m = 0, \pm 1, \pm 2, ...$$

le déphasage est $\delta = \pi$ ou 180° et l'interférence est destructive. L'intensité lumineuse est minimum, même nulle si les 2 ondes ont même amplitude.

Interférences de 2 sources lumineuses

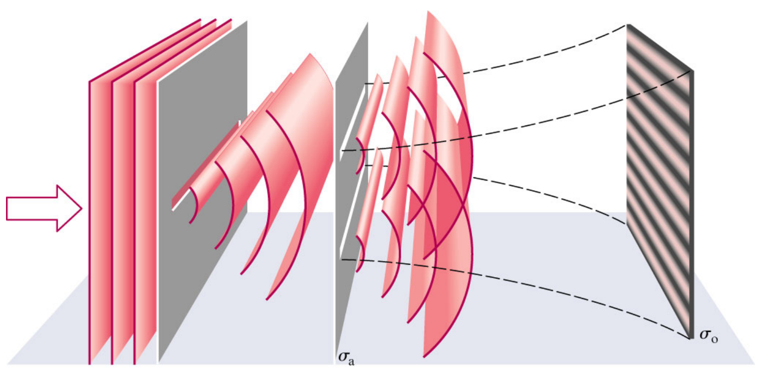
Si on fixe m ou m', toutes les positions possibles du point P satisfont à $(r_1 - r_2)$ =const $\longrightarrow$ les points P du plan sont sur une branche d'hyperbole. Dans l'espace à 3 dimensions, on aura donc des hyperboloïdes. Si on place un écran parrallèle à $S_1 S_2$, il coupe ces hyperboloïdes et on aura des **franges brillantes** et des **franges noires**.
Au lieu d'être uniformément répartie sur l'écran, l'énergie lumineuse est concentrée sur les franges brillantes.

Pour produire l'interférence de 2 ondes, il n'est pas nécessaire que les 2 sources soient en phase ; il suffit qu'elles aient une différence de phase constante. **Les sources qui conservent dans le temps un déphasage constant (nul ou non) sont dites cohérentes**.

La difficulté pour produire des franges d'interférence réside dans le choix des sources ; elles doivent être **cohérentes**. Or, à part les lasers modernes, des sources séparées, cohérentes et stabilisées n'existent pas. Cette difficulté fut résolue, il y a 200 ans, par Thomas Young dans son expérience de double fente.

Expérience de Young

Young pris un seul front d'onde qu'il fit passer à travers deux petites ouvertures. D'après l'optique géométrique, on devrait observer sur l'écran $\boldsymbol{\sigma_o}$ seulement deux lignes brillantes correspondant aux deux fentes. Par contre d'après l'hypothèse de Huygens, avec des ondelettes qui se forment à chaque point du front d'onde, on va voir une alternance de franges brillantes et noires sur $\boldsymbol{\sigma_o}$. C'est effectivement ce que l'on observe.
Une lumière monochromatique est diffractée par une fente qui agit alors comme un point source de lumière qui émet un front d'ondes semi-circulaires. Cette lumière éclaire un écran opaque, $\boldsymbol{\sigma_a}$, muni de deux petites ouvertures identiques.

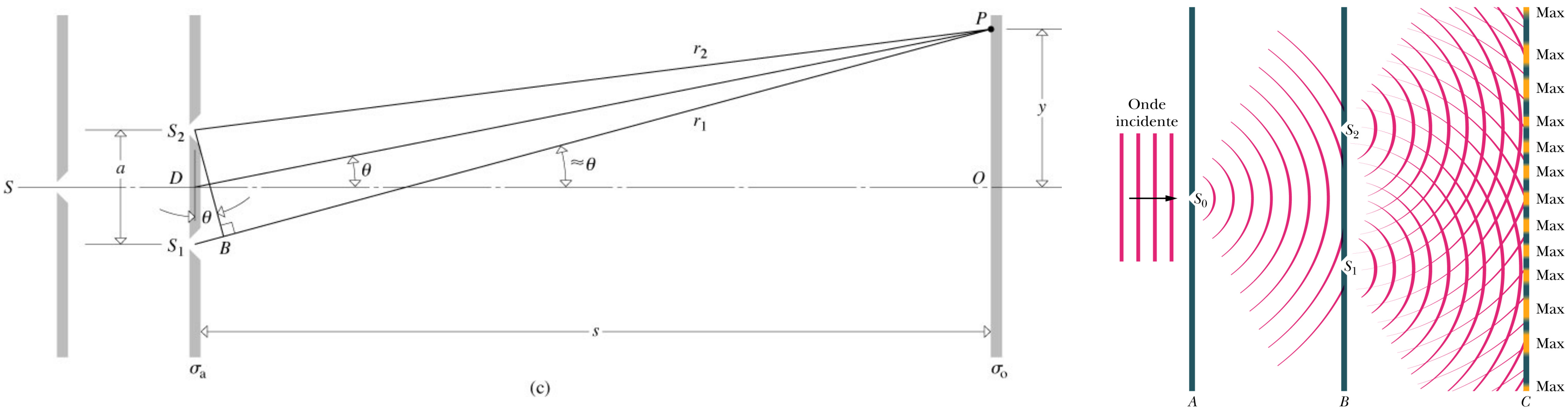


(a)

La lumière jaillit des deux ouvertures comme si elle était émise par deux sources identiques et cohérentes (lorsqu'elles passent à travers les deux fentes, ces ondes sont en phase, car elles ne sont que des parties de la même onde incidente). Les ondes se superposent et remplissent l'espace de franges qui apparaissent sur l'écran $\boldsymbol{\sigma_o}$.

Expérience de Young

On prend habituellement $s \gg a$ avec $a < 1\text{mm}$ et $s \sim 1000a$. On peut alors faire l'approximation que la différence de parcours $(r_1 - r_2) \sim S_1B$ avec $S_2B \perp S_1P$.



$$(r_1 - r_2) \sim S_1B = a\sin\theta \sim a\,\theta$$

Comme $P\widehat{D}O = \theta$, alors $\tan P\widehat{D}O = y/s \sim \theta$ et la différence de parcours vaut :

$$(r_1 - r_2) = \frac{ay}{s}$$

Expérience de Young

- **Interférence constructive**

En comparant avec l'équation obtenue page 25a-7 donnant les maxima d'intensité lumineuse, $(r_1 - r_2) = m\lambda$, on trouve que l'angle θ_m du maximum d'ordre m est donc donné par :

$$a \sin\theta_m = m\,\lambda \qquad m = 0, \pm1, \pm2, ...$$

Il y a toujours une frange brillante au centre. On trouve aussi que la frange brillante d'ordre m se trouve à une distance y_m de la frange centrale :

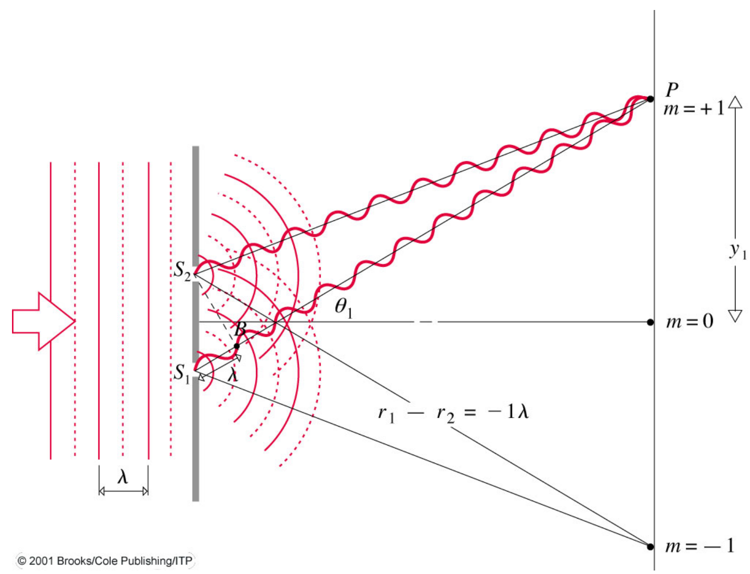
$$y_m = \frac{s}{a} m\lambda$$

- **Interférence destructive**

$$a \sin\theta_m = (m + \frac{1}{2})\lambda \quad m = 0, \pm1, \pm2, ...$$

($m < 0$ pour franges sous l'axe).

La distance entre franges brillantes ou noires, **l'interfrange,** Δy vaut : $\Delta y = \frac{s}{a}\lambda$, qui dépend de λ. Si on utilise la lumière blanche, la frange centrale ($m = 0$) est blanche, mais toutes les autres sont colorées.



DvD 23-11

Expérience de Young : exemple

La lumière rouge d'un laser He-Ne ($\boldsymbol{\lambda = 632,8}$nm) tombe sur un écran muni de 2 fentes horizontales, très étroites et séparées par 0,200 mm. Une figure d'interférence apparaît sur un écran situé à 1,00 m. (a) Déterminer approximativement (en radians et en mm) les positions des 2 premières extinctions de lumière de part et d'autre de l'axe central. (b) A quelle distance (en mm) de l'axe se trouve la 5eme frange brillante (m=5) ?

SOLUTION :(a) Ici on a : $\boldsymbol{a = 0,200 \times 10^{-3}}$m et $\boldsymbol{s = 1}$m. Le premier minimum se produit pour $\boldsymbol{m = 0}$ et $\boldsymbol{m = -1}$, soit $\boldsymbol{(r_1 - r_2) = \pm\frac{1}{2}\lambda}$. Alors $\boldsymbol{a \sin\theta_1 = \pm\frac{1}{2}\lambda}$ et comme les angles sont petits

$$\boldsymbol{\theta_1 \sim \frac{\pm\frac{1}{2}\lambda}{a} \sim \pm\frac{1}{2}\frac{(632,8 \times 10^{-9}\text{m})}{(0,200 \times 10^{-3}\text{m})} \sim \pm 1,58 \times 10^{-3}\text{rad}}$$

Comme l'écran est à une distance $\boldsymbol{s = 1}$m,

$\boldsymbol{y_1 = s\,\theta_1 = (1,00\text{m})(\pm 1,58 \times 10^{-3}\text{rad}) = \pm 1,582\text{mm}}$

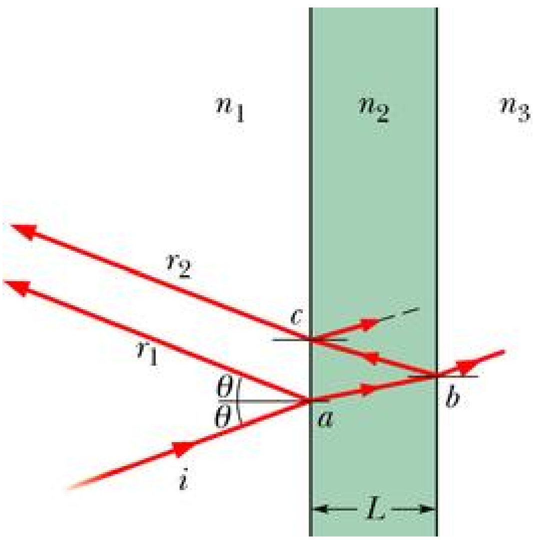
(b) Nous trouvons :

$$\boldsymbol{y_5 \sim \frac{s}{a}(5\lambda) \sim \frac{(1,00\text{m})5(632,8 \times 10^{-9}\text{m})}{(0,200 \times 10^{-3}\text{m})} \sim 1,58 \times 10^{-2}\text{m}}$$

Interférence par réflexion sur couches minces

L'interférence de la lumière permet d'expliquer de nombreux phénomènes faciles à observer, tels les couleurs des bulles de savon, des pellicules d'huile sur l'eau.

Soit une onde lumineuse, i, en incidence presque normale ($\theta \sim 0$) et se réfléchissant sur une couche mince (n_2) d'épaisseur L. Le rayon r_1 est réfléchi par la face antérieure. Le rayon r_2, réfléchi par la face arrière, parcourt un chemin supplémentaire, abc, par rapport à r_1. Si les rayons r_1 et r_2 arrivent en phase dans l'œil d'un observateur, ils produiront une interférence constructive et la région ac apparaîtra brillante à l'observateur. Si par contre, ils sont en opposition de phase, cette région apparaîtra noire, bien qu'elle soit illuminée.

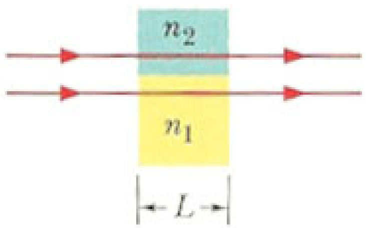


Comme $\theta \sim 0$, le parcours supplémentaire pour r_2 peut être approximé par $2L$. Mais pour trouver la différence de phase entre les 2 ondes, on ne peut pas simplement chercher le nombre de longueurs d'onde λ équivalent à $2L$ car

- le trajet abc se fait dans un milieu $n_2 \neq n_1$,
- la réflexion peut changer la phase.

Déphasage du à différents milieux de propagation

Les 2 ondes lumineuses ont même λ et sont en phase avant d'entrer dans les milieux 1 et 2 de même épaisseur L et d'indice de réfraction n_1 et n_2 respectivement. En sortant, elles ne seront plus en phase car leurs longueurs d'onde sont différentes quand elles voyagent dans des milieux différents. On peut calculer la différence de phase en comptant le nombre de longueurs d'onde N comprises dans chaque milieu, et en soustrayant ensuite ces nombres,soit



$$N_1 = \frac{L}{\lambda_1} = \frac{Ln_1}{\lambda} \qquad N_2 = \frac{L}{\lambda_2} = \frac{Ln_2}{\lambda}$$

$$N_2 - N_1 = \frac{Ln_2}{\lambda} - \frac{Ln_1}{\lambda} = \frac{L}{\lambda}(n_2 - n_1)$$

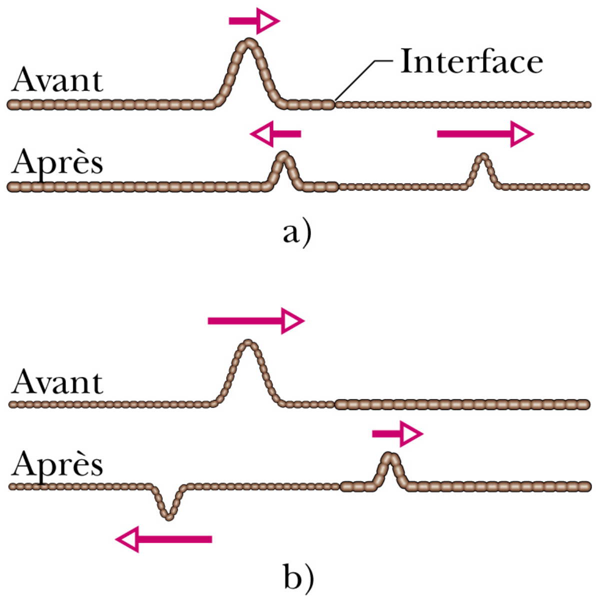
Pour $n_1 = 1$, $n_2 = 1,6$, $\lambda = 550$nm et $L = 2,6\mu$m, on trouve que $N_2 - N_1 = 2,84$.

Mais la différence de phase effective est la portion décimale de la différence de phase **exprimée en longueurs d'onde**, soit 0,84 longueur d'onde. Puisque UNE longueur d'onde équivaut à 2π rad ou à 360°, cette différence de phase effective vaut 5,3 rad $\sim 300°$.

La différence de phase entre 2 ondes lumineuses peut varier si les ondes voyagent dans des matériaux différents ayant des indices de réfraction différents.

Déphasage par réflexion

La réfraction sur une interface ne change jamais la phase, mais une réflexion peut le faire, cela dépendant des indices de réfraction des 2 milieux.



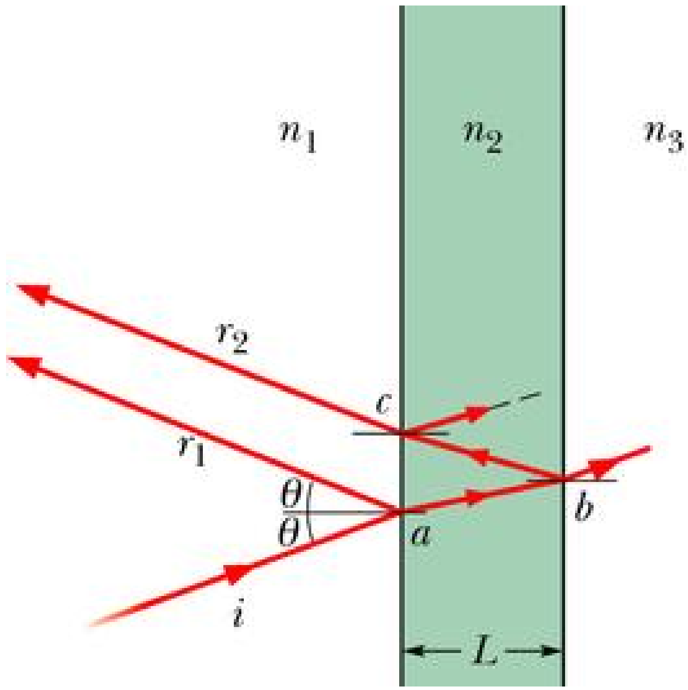
Reprenons l'exemple d'une onde parcourant une corde faite de 2 matériaux de masses linéiques différentes (voir page 11-21(22)). En (a) l'onde incidente parcourt d'abord la corde de grande masse linéique : l'onde réfléchie n'est pas inversée. En (b) : l'onde incidente parcourt d'abord la corde de petite masse linéique : l'onde réfléchie est inversée. Pour une onde sinusoïdale, une telle inversion, implique un changement de phase de π rad, ou $1/2\lambda$.

Pour la lumière, cette situation correspond à une onde incidente se propageant d'un milieu n_1 à un milieu n_2. **Dans le cas où $n_1 < n_2$, l'onde réfléchie à l'interface est déphasée de π rad**.

Interférence par réflexion sur couches minces

Nous avons déja vu 3 façons différentes pour produire un déphasage entre 2 ondes :
– par réflexion
– par des ondes parcourant des distances différentes (voir page 25a-7)
– par des ondes voyageant dans des milieux d'indice différents
Nous allons utiliser ces 3 processus pour décrire le passage dans une couche mince.

Examinons d'abord les 2 réflexions avec $n_2 > n_3$:
• En a, r_1 est réfléchi avec $n_1 < n_2 \quad \longrightarrow$ le rayon réfléchi a sa phase décalée de $\lambda/2$.
• En b, on $n_2 > n_3 (= n_1) \qquad \longrightarrow$ aucun déphasage.
Donc au total, r_1 et r_2 ont une différence de phase de $\lambda/2$ et sont totalement déphasés.



Interférence par réflexion sur couches minces

Considérons maintenant la différence de parcours $2L$:

- Si on veut que r_1 et r_2 soient finalement totalement en phase, il faut que $2L$ produise un déphasage additionnel de 1/2, 3/2, 5/2$\cdots$ de la longueur d'onde λ_2, soit

$$2L = \frac{\text{nombre impair}}{2}\lambda_2 = \frac{\text{nombre impair}}{2}\,\frac{\lambda}{n_2}$$

où λ_2 est la longueur d'onde dans le milieu d'indice n_2 et λ celle dans le vide (approx. celle dans l'air).

- Si on veut au contraire que r_1 et r_2 soient finalement totalement déphasés, il faut que $2L$ produise un déphasage additionnel de 1, 2, 3 λ_2

$$2L = \text{nombre entier} \times \frac{\lambda}{n_2}$$

En remplaçant “nombre impair” par $(m + 1/2)$, on aura un maximum pour

$$2L = (m + \frac{1}{2})\,\frac{\lambda}{n_2} \quad \text{avec} \quad m = 0, 1, 2 \cdots$$

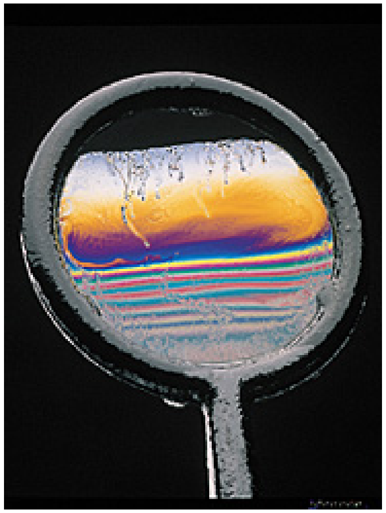
En remplaçant “nombre pair” par m, on aura un minimum pour

$$2L = m\,\frac{\lambda}{n_2} \qquad \text{avec} \quad m = 0, 1, 2\ \cdots$$

Ces équations ne sont valables que si $n_2 > n_1$ et $n_2 > n_3$.

Interférence par réflexion sur couches minces

Un cas spécial arrive pour L très petit, soit $L < 0,1\lambda$: dans ce cas, la différence de trajet $2L$ est négligeable et les rayons r_1 et r_2 sont toujours hors phase. Ainsi la couche mince parait noire quelle que soit la longueur d'onde et l'intensité qui l'illuminent. Cette situation correspond à $m = 0$. L'épaisseur suivante qui rend la couche noire est donnée par $m = 1$. Si la couche mince n'a pas une épaisseur constante, et qu'on l'éclaire en lumière blanche, on voit différentes couleurs : l'interférence constructive se produit à différents endroits de la pellicule pour différentes longueurs d'onde (DvD 23-18).
Une application importante consiste à donner au verre, particulièrement aux lentilles, un revêtement anti-reflets. Le verre réfléchit 4% de la lumière incidente. Les instruments optiques peuvent contenir de 6 à 10 lentilles minces.

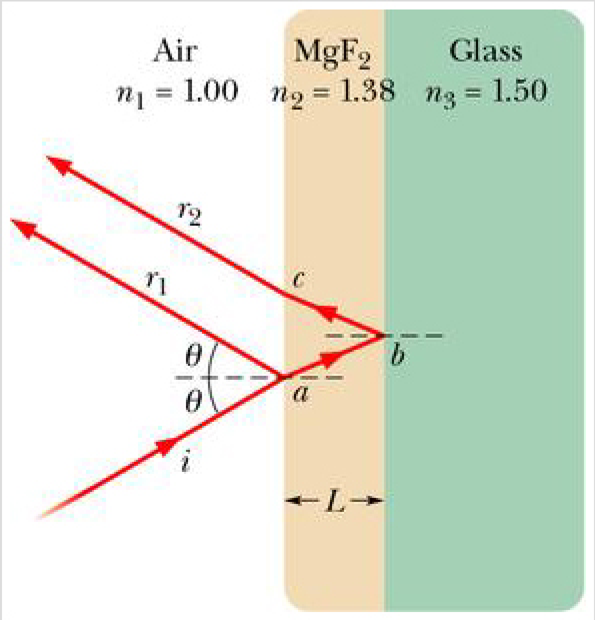


La somme des réflexions à chaque surface peut réduire considérablement la quantité de lumière ; de plus, les réflexions multiples produisent un bruit de fond qui réduit la qualité de l'image. L'application d'un très mince revêtement sur les lentilles permet de diminuer ce problème. La fraction de lumière réfléchie à une frontière dépend de la différence des indices de réfraction de chaque milieu. Ainsi on arrive à diminuer la réflexion de 4% à 1%.

Interférence par réflexion sur couches minces : exemple

Un revêtement optique de MgF_2, dont l'indice de réfraction est $n = 1,38$ est conçu pour éliminer les réflexions aux longueurs d'onde centrées à 550 nm en incidence perpendiculaire sur du verre ; quelle est l'épaisseur du revêtement si l'indice de réfraction du verre est de $n = 1,50$?

SOLUTION : Ici $n_1 \sim 1, n_2 = 1,38$ et $n_3 = 1,5$. Il y a ici 2 fois réflexion sur un milieu d'indice supérieur au milieu incident. La lumière réfléchie sur les faces avant ET arrière du revêtement subit un déphasage de $180°$. La réflexion seule a donc tendance à mettre les rayons r_1 et r_2 en phase.



Pour avoir r_1 et r_2 déphasés, on ne peut donc jouer que sur l'épaisseur. Ainsi, il faut que

$$2L = (m + \frac{1}{2})\frac{\lambda}{n_2} \quad \text{pour} \quad m = 0, 1, 2...$$

Pour avoir l'épaisseur minimum, on prend $m = 0$. Soit

$$L = \frac{\lambda}{4n_2} = \frac{550\text{nm}}{(4)(1,38)} = 99,6\text{nm}$$

Interférence par réflexion sur couches minces : exemple

Une lumière blanche, d'intensité uniforme pour toutes les longueurs d'onde entre 400-690 nm, est incidente perpendiculairement sur une couche mince d'eau (d'indice de réfraction $n_2 = 1,33$ et d'épaisseur $L = 320$nm), qui est suspendue dans l'air. A quelle longueur d'onde λ la lumière réfléchie par l'eau paraîtra la plus brillante à un observateur ?

SOLUTION : On se trouve dans la situation discutée à la page 25a-17 et 25a-18 pour $n_2 > n_1 = n_3$. On aura un maximum pour $2L = (m + \frac{1}{2})\lambda/n_2$. Donc on obtient une interférence maximum pour

$$\lambda = \frac{2n_2\, L}{m + 1/2} = \frac{(2)(1,33)(320\text{nm})}{m + 1/2} = \frac{851\text{nm}}{m + 1/2}$$

Pour $m = 0$, $\lambda = 1700$ nm, qui est dans IR. Pour $m = 1$, on trouve $\lambda = 567$nm, qui donne une lumière jaune-verte. Pour $m = 2$, $\lambda = 340$ nm, qui est dans UV.

La longueur d'onde vue par l'observateur est $\lambda = 567$ nm.

Interférence par réflexion sur couches minces :exemple

Une bulle de savon dans l'air a un indice de réfraction de 1,34. Si une région de la bulle paraît lumineuse et rouge ($\lambda = 633$nm) en lumière réfléchie perpendiculairement, quelle est son épaisseur minimum à cet endroit ?

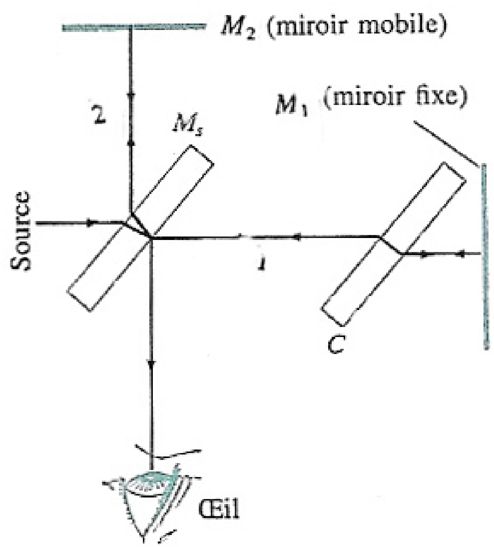
SOLUTION : On se trouve bien dans la situation discutée précédemment pour laquelle $n_2 > n_1 = n_3$. Nous avons un maximum d'intensité pour

$$L = (m + \frac{1}{2})\frac{\lambda}{2\,n_2} = (m + \frac{1}{2})236\text{nm}$$

Pour $m = 0$ correspondant à l'épaisseur minimum, $L = 118$nm.

Interféromètre de Michelson

Plusieurs dispositifs pratiques, appelés **interféromètres**, produisent des figures d'interférence essentiellement de même nature que celles des couches minces. Une lumière monochromatique, émise par une source étendue, est partagée en 2 faisceaux d'égale amplitude par un miroir semi-argenté (M_s). Les 2 faisceaux se réfléchissent ensuite sur 2 miroirs M_2 (mobile) et M_1 (fixe) et retournent au miroir M_s. Le faisceau M_1 se réfléchit sur M_s et M_2 traverse M_s vers le détecteur. Les faisceaux se superposent et produisent une figure d'interférence qui dépend de la différence de parcours et des déphasages de π éventuels dus à la réflexion sur M_s.



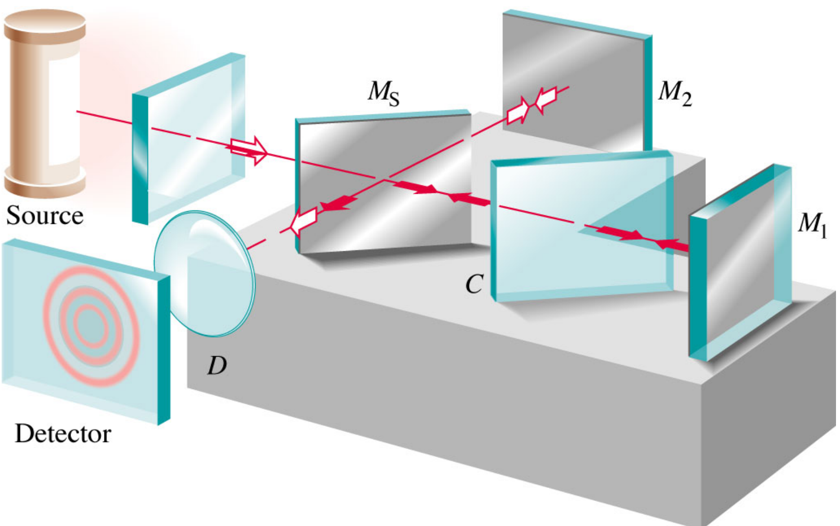
On introduit une plaque de compensation en verre transparent C, de même épaisseur que M_s, sur le trajet du faisceau 1 de façon à ce que les 2 faisceaux traversent la même épaisseur de verre.

Avec le compensateur en place, on peut utiliser de la lumière blanche ; sinon l'éclairement doit être quasi monochromatique.

DvD 23-15,19,20

Interféromètre de Michelson

Ce qu'on voit, en regardant le dispositif à travers le détecteur, est la superposition des deux faisceaux réfléchis sur les 2 miroirs. On voit en même temps le diviseur de faisceau, l'image du miroir M_1 réfléchie sur M_s et l'image du miroir M_2 transmise à travers M_s. Cela équivaut à voir M_1 et M_2 l'un derrière l'autre, avec une couche d'air entre eux dont l'épaisseur correspond à la différence de marche des 2 faisceaux.



(a)

Si M_2 et l'image de M_1 (à travers le miroir M_s) ne sont pas parallèles, ils forment un coin d'air triangulaire. On voit alors un système de franges d'égale épaisseur, droites, également espacées et parallèles à l'arête de ce coin d'air. Si on déplace alors M_2 les lignes brillantes et sombres bougent vers la gauche ou la droite.

Si M_2 et M_1 sont alignés précisément, l'observateur ne voit pas non plus une intensité uniforme ; comme la différence de marche est différente pour différents angles de vision, l'observateur voit une série d'anneaux.

Interféromètre de Michelson

Un déplacement des franges d'interférence peut aussi être obtenu en insérant un matériau mince et transparent (épaisseur L et n) sur le chemin optique de l'un des miroirs, M_1 p.e. Le nombre de longueurs d'onde dans $2L$ du matériau est :

$$N_m = \frac{2L}{\lambda_n} = \frac{2Ln}{\lambda}$$

Le nombre de longueurs d'onde dans la même épaisseur d'air avant l'insertion du matériau est :

$$N_a = \frac{2L}{\lambda}$$

Après insertion du matériau, on observera un décalage des franges de

$$N_m - N_a = \frac{2Ln}{\lambda} - \frac{2L}{\lambda} = \frac{2L}{\lambda}(n-1)$$

On peut ainsi mesurer l'épaisseur d'un matériau en comptant le décalage des franges. La précision obtenue est excellente : 100nm pour $\lambda = 400$nm.
Michelson a pu montrer, en utilisant un tel interféromètre, que la longueur du mètre étalon (distance entre 2 fines marques sur une barre de métal) équivalait à 1553161,5 longueurs d'onde d'une lumière rouge monochromatique dans le vide. Michelson a reçu le prix Nobel en 1907.