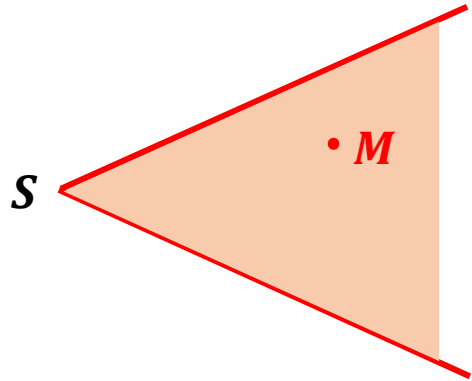


- *Modèle scalaire des ondes lumineuses*
- *Chemin optique*
- *Déphasage dû à la propagation*
- *Surfaces d'ondes et théorème de Malus*

I. modèle scalaire de la lumière – vibration lumineuse

La lumière peut être décrite par un champ scalaire appelé vibration lumineuse, qui représente l'amplitude instantanée de la lumière. Une onde monochromatique émise par une source ponctuelle en S , est décrite en M par le champ scalaire :



$$s(M, t) = a(M) \cos(\omega t - \varphi(M))$$

- $\varphi(M)$: le retard de phase au point M .
- $a(M)$: amplitude de la vibration

La vibration lumineuse se propage dans les milieux transparent, le long des rayons lumineux, à la vitesse $v = \frac{c}{n}$ où $n = \frac{c}{v}$ est l'indice optique du milieu.

Si plusieurs vibrations $s_i(M, t)$ se propagent simultanément dans l'espace, alors:

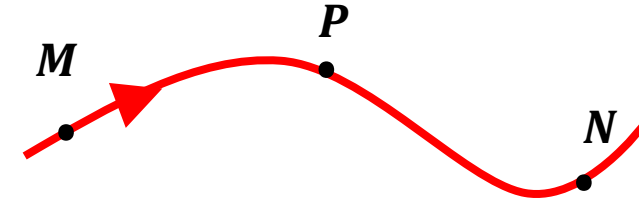
- chacune se propage comme si elle était seule
- la vibration résultante en un point M est :

$$s(M, t) = \sum_i s_i(M, t)$$

II. Chemin optique - surface d'onde et Théorème de Malus

II. 1. Chemin optique

Soit un rayon lumineux passant par M puis par N .



Alors, le **chemin optique** parcouru par la lumière entre M et N est par définition :

$$(MN) = \int_M^N n(P) dl_p$$

Or $dl_p = v dt$ donc $n(P) dl_p = n(P) v dt = c dt$ d'où $(MN) = \int_M^N n(P) dl_p = \int_M^N c dt = c(t_N - t_M)$

On peut donc interpréter le chemin optique comme le chemin parcouru dans le vide pendant la durée réelle mise pour aller de M à N dans le milieu d'indice n .

Remarque

Dans un milieu *l.h.i.t*, si n est uniforme, alors la lumière se propage en ligne droite, et le chemin optique s'écrit:

$$(MN) = nMN$$

II. 2. Déphasage entre deux points

La vibration lumineuse en **M** s'écrit :

$$s(M, t) = a \cos(\omega t - \varphi(M))$$

La vibration lumineuse en **N** s'écrit :

$$s(N, t) = a \cos(\omega t - \varphi(N))$$



La vibration lumineuse en **N** reproduit la vibration en **M** avec un retard de propagation t_{MN}

$$s(N, t) = s(M, t - t_{MN}) \Rightarrow a \cos(\omega t - \omega t_{MN} - \varphi(M)) = a \cos(\omega t - \varphi(N)) \quad \text{Où } t_{MN} = \frac{(MN)}{c}$$

$$\varphi(N) = \varphi(M) + \omega t_{MN} = \varphi(M) + \frac{\omega}{c} (MN)$$

Or $\frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ Où λ_0 Longueur d'onde dans le vide

$$\Rightarrow \varphi(N) = \varphi(M) + \frac{2\pi}{\lambda_0} (MN)$$

Le retard dû à la propagation induit un déphasage du signal en **N** par rapport au signal en **M** vaut:

$$\Delta\varphi_{M \rightarrow N} = \varphi(N) - \varphi(M) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (MN)$$

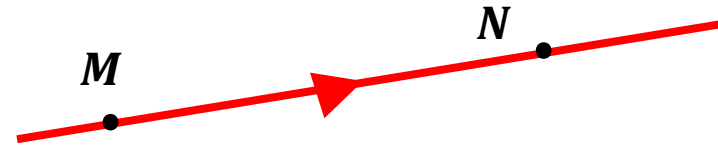
Dans un milieu *l.h.i.t*, où n est uniforme, le déphasage s'écrit:

Puisque $(MN) = nMN$

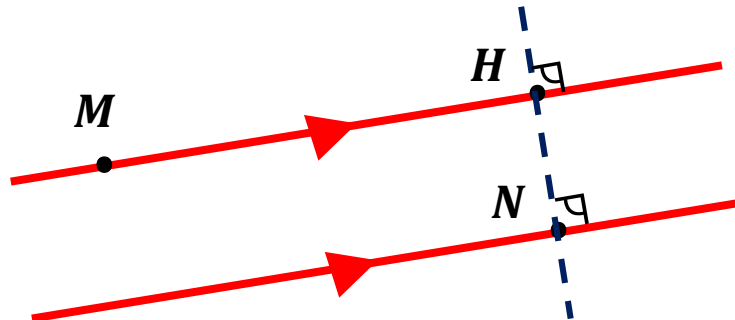
$$\Delta\varphi_{M \rightarrow N} = \frac{2\pi}{\lambda_0} nMN$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda} MN \quad \text{Où } \lambda = \frac{\lambda_0}{n} \text{ est la longueur d'onde dans le milieu d'indice } n$$

$$\Delta\varphi_{M \rightarrow N} = \vec{k} \cdot \overrightarrow{MN} \quad \text{Où } \vec{k} \text{ est le vecteur d'onde dans le milieu d'indice } n$$



Dans le cas où les deux points sont situés sur deux rayons lumineux parallèles, le déphasage s'écrit :



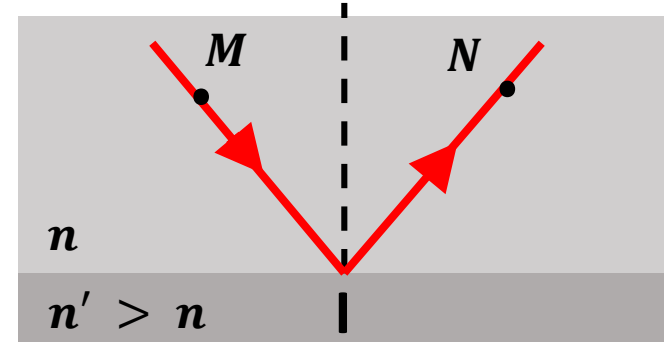
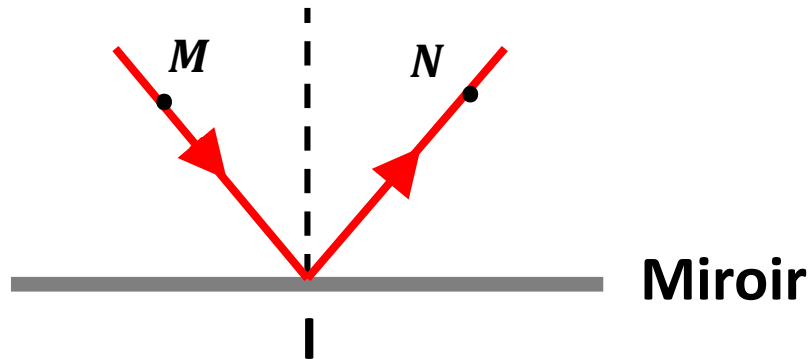
$$\Delta\varphi_{M \rightarrow N} = \vec{k} \cdot \overrightarrow{MN} = \vec{k} \cdot \overrightarrow{MH}$$

Remarque

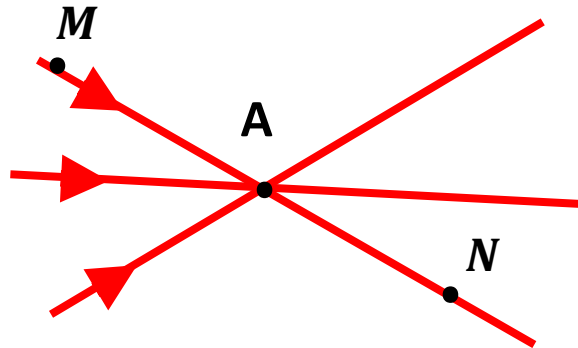
En plus du déphasage lié à la propagation, la lumière subit un déphasage supplémentaire de π dans les situations suivantes :

- lorsque le rayon lumineux subit une réflexion sur une surface métallique ou sur un milieu plus réfringent

$$\Delta\varphi_{M \rightarrow N} = \frac{2\pi}{\lambda_0} (MI) + \pi + \frac{2\pi}{\lambda_0} (IN)$$



- lorsque le rayon passe par un point de convergence



$$\Delta\varphi_{M \rightarrow N} = \frac{2\pi}{\lambda_0} (MA) + \pi + \frac{2\pi}{\lambda_0} (AN)$$

II. 3. Théorème de Malus

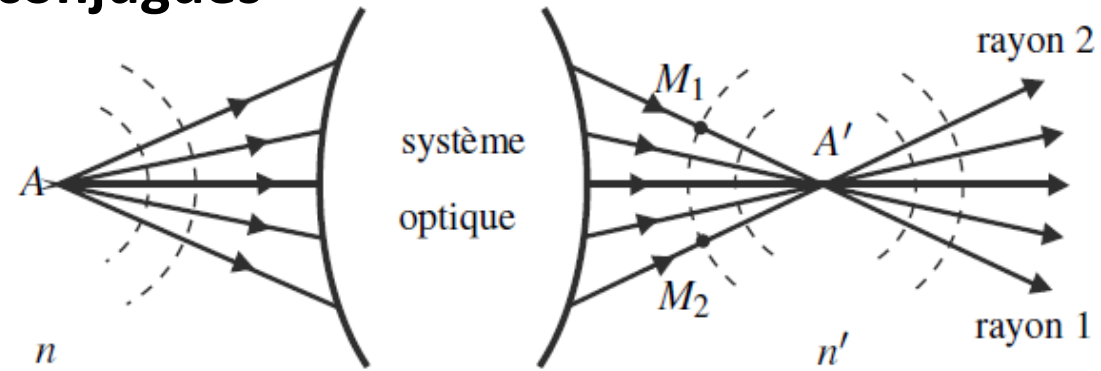
- Une surface d'onde relative au point source S est une surface formée des points M tels que $\varphi(M) = \text{constante}$, ou encore, ce qui est équivalent, $(SM) = \text{constante}$.

Les surfaces d'onde relatives au point source S sont orthogonales aux rayons lumineux issus de S .

Exemple: Égalité des chemins optiques entre points conjugués

Soient deux points A et A' conjugués par un système optique $(AA')_1 = (AM_1) + (M_1A')$

Or M_1 et M_2 appartiennent à la même surface d'onde de la vibration issue de $A \Rightarrow (AM_1) = (AM_2)$



D'après le principe du retour inverse de la lumière, M_1 et M_2 appartiennent à la même surface d'onde de la vibration issue de $A' \Rightarrow (A'M_1) = (A'M_2) \Rightarrow (AA')_1 = (AM_2) + (A'M_2) = (AA')_2$

Lorsque deux points A et A' sont conjugués par un système optique, le chemin optique (AA') est le même le long de tous les rayons allant de A à A' .

III. Intensité lumineuse ou éclairement

III. 1. Intensité lumineuse

L'intensité lumineuse émise par une source est le module de la moyenne du vecteur de Poynting. Elle est proportionnelle à la moyenne temporelle du carré du signal lumineux :

$$I(M) = K \langle s(M, t)^2 \rangle$$

III. 2. Notion du train d'ondes

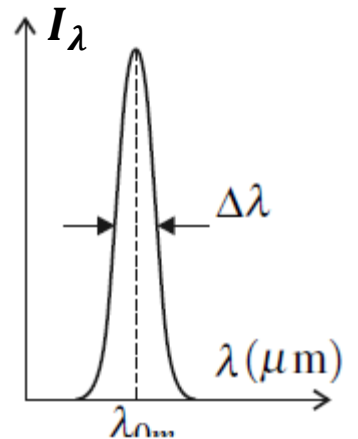
L'émission lumineuse n'est pas continue. Elle se fait par émission de train d'ondes (onde limitée dans le temps émise par l'atome) dont la phase varie aléatoirement d'un train d'onde à l'autre. La longueur d'un train d'onde est la longueur de cohérence temporelle l_c et la durée d'un train d'onde s'appelle durée de cohérence temporelle $\tau_c = cl_c$.

III. 3. Intensité spectrale

On appelle intensité spectrale ou densité spectrale d'une source l'intensité émise par cette source par unité de longueur d'onde ou par unité de fréquence.

$$\text{Soit : } I_\lambda = \frac{dI}{d\lambda} \text{ ou bien } I_\nu = \frac{dI}{d\nu}$$

La largeur à mi-hauteur de l'intensité spectrale $\Delta\nu_{1/2}$ est liée à la durée d'un train d'onde par la relation $\tau_c \cdot \Delta\nu_{1/2} \sim 1$



III. 4. Sources lumineuses

On distingue plusieurs types de sources lumineuses :

- Source de lumière blanche: une lumière blanche est une lumière dont le spectre est continu et contient toutes les longueurs d'onde du domaine visible.
- Une lampe spectrale émet une série de longueurs d'onde caractéristique de l'élément qu'elle contient. Le spectre est constitué de pics fins appelés raies spectrales.
- La lumière d'un faisceau laser présente une raie spectrale unique beaucoup plus fine qu'une raie de lampe spectrale.

