Leçon 5 : modèle scalaire des ondes lumineuses

E. Capitaine

TSI 2 - Lycée Charles Coëffin

30 septembre 2025

Plan

Plan

Introduction

Introduction

Comment retrouver les notions vues en optique géométrique avec le modèle de l'optique ondulatoire ?

Plan

Le modèle scalaire de la lumière

Nature de l'onde lumineuse

La lumière est une onde

Elle se propage dans le vide à la vitesse

Elle est composée de deux **champs de vecteurs couplés** :

Le modèle scalaire de la lumière

Nature de l'onde lumineuse

La lumière est une onde **électromagnétique** transversal de fréquence comprise entre ≈ 400 THz (rouge) et ≈ 800 THz (bleu).

Elle se propage dans le vide à la vitesse

Elle est composée de deux **champs de vecteurs couplés** :

Le modèle scalaire de la lumière

Nature de l'onde lumineuse

La lumière est une onde **électromagnétique** transversal de fréquence comprise entre ≈ 400 THz (rouge) et ≈ 800 THz (bleu).

Elle se propage dans le vide à la vitesse $c_0 = 3 \times 10^8\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Elle est composée de deux **champs de vecteurs couplés** :

La lumière est une onde **électromagnétique** transversal de fréquence comprise entre $\approx 400\,\mathrm{THz}$ (rouge) et $\approx 800\,\mathrm{THz}$ (bleu).

Elle se propage dans le vide à la vitesse $c_0 = 3 \times 10^8\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Elle est composée de deux **champs de vecteurs couplés** : le champ électrique $\vec{E}$ et le champ magnétique $\vec{B}$.

La lumière est une onde **électromagnétique** transversal de fréquence comprise entre ≈ 400 THz (rouge) et ≈ 800 THz (bleu).

Elle se propage dans le vide à la vitesse $c_0 = 3 \times 10^8$ m · s^{-1}.

Elle est composée de deux **champs de vecteurs couplés** : le champ électrique $\vec{E}$ et le champ magnétique $\vec{B}$.

Dans le cas d'une **onde plane**, les champs de vecteur $\vec{E}$ et $\vec{B}$ sont perpendiculaires mais aussi perpendiculaires à la direction de propagation de l'onde, ici celle du vecteur $\vec{u}_x$.

Nous verrons dans la leçon "Équations de Maxwell" les relations entre les composantes électrique et magnétique d'une onde électromagnétique (pour toute valeur de fréquence, pas seulement celles de la lumière). Pour l'instant, nous pouvons nous contenter d'étudier la composante électrique $\vec{E}$.

De plus, nous considérerons dans le cas du modèle scalaire de la lumière, le champ électrique $\vec{E}$ comme un **champ scalaire** dont on notera $E(M,t)$ sa valeur au point M à l'instant t. Dans ce modèle on ne tient donc pas compte de la direction et du sens du champ vectoriel $\vec{E}$ mais seulement de sa valeur.

Le modèle scalaire de la lumière

Vibration lumineuse

On appelle **vibration lumineuse scalaire** la valeur du vecteur champ électrique $E(M,t)$ au point M à l'instant t.

Le modèle scalaire de la lumière

Vibration lumineuse

On appelle **vibration lumineuse scalaire** la valeur du vecteur champ électrique $E(M,t)$ au point M à l'instant t.

On appelle **lumière monochromatique** une vibration idéale purement sinusoïdale

$$E(M,t) = E(M)\cos\left(\omega t - \varphi(M)\right)$$

avec E_M et $\varphi(M)$ l'amplitude et la phase à l'origine (ou retard de phase) en M de la vibration au point M et ω sa pulsation.

Comme en électronique, on peut utiliser l'**intermédiaire** de calcul complexe

$$\underline{E}(M,t) = E(M)\mathrm{e}^{i(\omega t - \varphi(M))}.$$

Le modèle scalaire de la lumière

Vibration lumineuse

On appelle **vibration lumineuse scalaire** la valeur du vecteur champ électrique $E(M,t)$ au point M à l'instant t.

On appelle **lumière monochromatique** une vibration idéale purement sinusoïdale

$$E(M,t) = E(M)\cos\left(\omega t - \varphi(M)\right)$$

avec E_M et $\varphi(M)$ l'amplitude et la phase à l'origine (ou retard de phase) en M de la vibration au point M et ω sa pulsation.

Comme en électronique, on peut utiliser l'**intermédiaire** de calcul complexe

$$\underline{E}(M,t) = E(M)\mathrm{e}^{i(\omega t - \varphi(M))}.$$

Seule la grandeur réelle correspond à une information réelle.

Le modèle scalaire de la lumière

Vibration lumineuse

Quelques rappels :

Le modèle scalaire de la lumière

Vibration lumineuse

Quelques rappels :

- la fréquence $f = \frac{\omega}{2\pi}$ ou la période d'une $T = 1/f$ d'une vibration lumineuse ne dépendent pas du milieu de propagation

Le modèle scalaire de la lumière

Vibration lumineuse

Quelques rappels :

- la fréquence $f = \frac{\omega}{2\pi}$ ou la période d'une $T = 1/f$ d'une vibration lumineuse ne dépendent pas du milieu de propagation
- la célérité c et la longueur d'onde λ d'une vibration lumineuse dépendent du milieu de propagation

$$c = \frac{c_0}{n} \quad \text{avec} \quad n \geq 1$$
$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad \text{avec} \quad c_0 = \lambda_0 f$$

n et λ_0 étant respectivement l'indice de réfraction (ou indice optique) du milieu et la longueur d'onde de la vibration dans le vide.

Comme on l'a dit plus tôt la lumière est une onde dans la fréquence d'oscillation est comprise entre 400 THz et 800 THz, soit une période comprise entre .

Le modèle scalaire de la lumière

Éclairement

Comme on l'a dit plus tôt la lumière est une onde dans la fréquence d'oscillation est comprise entre $400\,\mathrm{THz}$ et $800\,\mathrm{THz}$, soit une période comprise entre $2{,}5 \times 10^{-15}\,\mathrm{s}$ et $1{,}3 \times 10^{-15}\,\mathrm{s}$.

Le modèle scalaire de la lumière

Éclairement

Comme on l'a dit plus tôt la lumière est une onde dans la fréquence d'oscillation est comprise entre $400\,\mathrm{THz}$ et $800\,\mathrm{THz}$, soit une période comprise entre $2{,}5 \times 10^{-15}\,\mathrm{s}$ et $1{,}3 \times 10^{-15}\,\mathrm{s}$.

Les transducteurs permettant de convertir un signal électromagnétique en un signal électronique ont des temps de réponses T_r beaucoup plus grand que ces périodes

- photodiode $T_r \approx 1 \times 10^{-6}\,\mathrm{s}$
- photorésistance $T_r \approx 1 \times 10^{-2}\,\mathrm{s}$
- thermopile $T_r \approx 1\,\mathrm{s}$.

Si un transducteur mesurait $E(M,t)$, une vibration d'une lumière monochromatique au point M où se trouve ce transducteur, il mesurerait la moyenne de la valeur de $E(M,t)$ sur une durée correspondant à sont temps de réponse T_r, soit

$$\langle E(M,t)\rangle_{T_r} = \frac{1}{T_r}\int_0^{T_r} E(M,t)\mathrm{d}t = \frac{1}{T_r}\int_0^{T_r} E(M)\cos\left(\omega t - \varphi(M)\right)\mathrm{d}t =$$

Le modèle scalaire de la lumière
Éclairement

Si un transducteur mesurait $E(M,t)$, une vibration d'une lumière monochromatique au point M où se trouve ce transducteur, il mesurerait la moyenne de la valeur de $E(M,t)$ sur une durée correspondant à sont temps de réponse T_r, soit

$$\langle E(M,t)\rangle_{T_r} = \frac{1}{T_r}\int_0^{T_r} E(M,t)\mathrm{d}t = \frac{1}{T_r}\int_0^{T_r} E(M)\cos\left(\omega t - \varphi(M)\right)\mathrm{d}t = 0.$$

Il ne mesurerait donc rien.

Le modèle scalaire de la lumière

Éclairement

C'est pourquoi les transducteurs mesurent une grandeur nommée **éclairement**, notée $\mathcal{E}$ proportionnelle à la moyenne de la puissance reçue par unité de surface, donc d'unité $\mathrm{W} \cdot \mathrm{m}^{-2}$.
On montrera plus tard que la puissance surfacique par unité de surface d'une vibration lumineuse est proportionnelle au carré de la vibration lumineuse

$$\mathcal{P}(M,t) = KE^2\left(M,t\right).$$

Ainsi la valeur mesurait par un transducteur est

$$\mathcal{E}(M) =$$

C'est pourquoi les transducteurs mesurent une grandeur nommée **éclairement**, notée $\mathcal{E}$ proportionnelle à la moyenne de la puissance reçue par unité de surface, donc d'unité $\mathrm{W} \cdot \mathrm{m}^{-2}$.
On montrera plus tard que la puissance surfacique par unité de surface d'une vibration lumineuse est proportionnelle au carré de la vibration lumineuse

$$\mathcal{P}(M,t) = KE^2\,(M,t)\,.$$

Ainsi la valeur mesurait par un transducteur est

$$\mathcal{E}(M) = \langle \mathcal{P}(M,t) \rangle_{T_r} = \frac{K}{T_r} \int_0^{T_r} KE^2(M,t)\mathrm{d}t$$
$$\mathcal{E}(M) = \frac{K}{T_r} \int_0^{T_r} E^2(M) \cos^2\left(\omega t - \varphi(M)\right) \mathrm{d}t$$
$$\mathcal{E}(M) = \frac{1}{2} KE^2(M).$$

On retient que l'éclairement $\mathcal{E}(M)$ est proportionnel à la valeur moyenne du carré de la vibration lumineuse $E(M)$

$$\mathcal{E}(M) = K \left\langle E^2(M,t) \right\rangle$$

avec K un facteur de proportionnalité.

On peut aussi mener le calcul de $\mathcal{E}(M)$ en complexe

$$\mathcal{E}(M) = \frac{1}{2} K \,\mathrm{Re}\left\{ \underline{E}(M,t) \underline{E}^*(M,t) \right\}$$

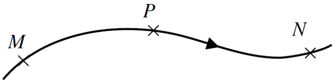
avec $E^*(M,t)$ le conjugué complexe de $E(M,t)$.

Plan

Chemin optique

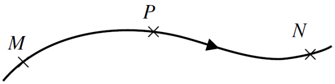
Définition

Considérons une vibration lumineuse qui se propage d'un point M à N par P dans un milieu d'indice optique quelconque.



Chemin optique

Définition



On définit le **chemin optique** parcouru par la lumière entre les points M et N tel que

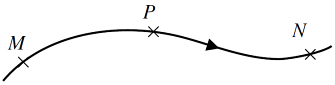
$$(MN) = c_0 t_{MN}$$

avec c_0 la vitesse de la lumière dans le vide et t_{MN} la durée de propagation de la lumière entre ces points.

Le chemin optique (MN) a la dimension d'une

Chemin optique

Définition



On définit le **chemin optique** parcouru par la lumière entre les points M et N tel que

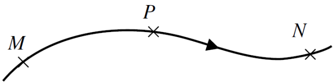
$$(MN) = c_0 t_{MN}$$

avec c_0 la vitesse de la lumière dans le vide et t_{MN} la durée de propagation de la lumière entre ces points.

Le chemin optique (MN) a la dimension d'une longueur. On peut dire que le chemin optique correspond à la longueur que parcourait la lumière dans le vide pour la même durée t_{MN}.

Chemin optique

Définition



On définit le **chemin optique** parcouru par la lumière entre les points M et N tel que

$$(MN) = c_0 t_{MN}$$

avec c_0 la vitesse de la lumière dans le vide et t_{MN} la durée de propagation de la lumière entre ces points.

Le chemin optique (MN) a la dimension d'une longueur. On peut dire que le chemin optique correspond à la longueur que parcourait la lumière dans le vide pour la même durée t_{MN}.

Comme la durée t_{MN} est la somme des durées de propagation t_{MP} et t_{PN}

$$(MN) = c_0 t_{MN} = c_0 \left(t_{MP} + t_{PN}\right) = (MP) + (PN).$$

Chemin optique

Comment calculer un chemin optique ?

Si le milieu transparent est **homogène** (n est le même en chaque point) alors la lumière se déplace en ligne droite. Ainsi

$$(MN) = c_0 t_{MN} =$$

Chemin optique

Définition

Comment calculer un chemin optique ?

Si le milieu transparent est **homogène** (n est le même en chaque point) alors la lumière se déplace en ligne droite. Ainsi

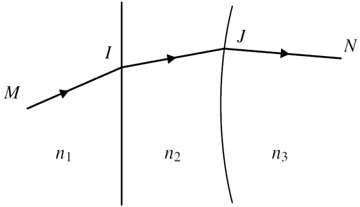
$$(MN) = c_0 t_{MN} = c_0 \frac{MN}{c} = \frac{c_0}{c} MN$$
$$(MN) = nMN.$$

Chemin optique

Définition

Comment calculer un chemin optique ?

Si la vibration traverse plusieurs milieux homogènes.



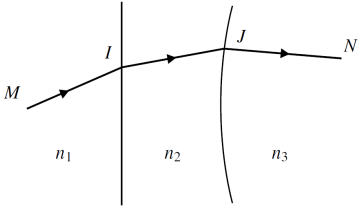
$$(MN) = c_0 t_{MN} =$$

Chemin optique

Définition

Comment calculer un chemin optique ?

Si la vibration traverse plusieurs milieux homogènes.



$$(MN) = c_0 t_{MN} = c_0 \left(\frac{MI}{c_1} + \frac{IJ}{c_2} + \frac{JN}{c_3} \right) = \frac{c_0}{c_1} MI + \frac{c_0}{c_2} IJ + \frac{c_0}{c_3} JN$$

$$(MN) = n_1 MI + n_2 IJ + n_3 JN.$$

Chemin optique

Définition

Comment calculer un chemin optique ?

On voit que le chemin optique d'une vibration correspond à la distance parcourue multipliée par l'indice optique du milieu homogène qu'il traverse.

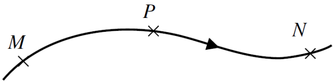
On peut utiliser les vecteurs unitaires orientés dans le sens de parcours de la vibration

$$(MN) = n_1\vec{u}_1 \cdot \vec{MI} + n_2\vec{u}_2 \cdot \vec{IJ} + n_3\vec{u}_3 \cdot \vec{JN}.$$

Chemin optique

Retard de phase

Comment obtenir l'expression de E en N à partir de celle de E en M ?



Chemin optique

Retard de phase

La vibration lumineuse arrivant en N à l'instant t_N correspond à la vibration lumineuse en M à l'instant t_M. La durée t_{MN} correspond à la durée de propagation de l'onde entre M et N.

La vibration lumineuse arrivant en N à l'instant t_N correspond à la vibration lumineuse en M à l'instant t_M. La durée t_{MN} correspond à la durée de propagation de l'onde entre M et N. Cela se traduit mathématiquement par la relation

$$E(N, t_N) = E(M, t_M).$$

La vibration lumineuse arrivant en N à l'instant t_N correspond à la vibration lumineuse en M à l'instant t_M. La durée t_{MN} correspond à la durée de propagation de l'onde entre M et N. Cela se traduit mathématiquement par la relation

$$E(N, t_N) = E(M, t_M).$$

On sait que $t_{MN} = t_N - t_M$, ainsi $t_M = t_N - t_{MN}$, donc

$$E(N, t_N) = E(M, t_N - t_{MN}).$$

Chemin optique

La vibration lumineuse arrivant en N à l'instant t_N correspond à la vibration lumineuse en M à l'instant t_M. La durée t_{MN} correspond à la durée de propagation de l'onde entre M et N. Cela se traduit mathématiquement par la relation

$$E(N, t_N) = E(M, t_M).$$

On sait que $t_{MN} = t_N - t_M$, ainsi $t_M = t_N - t_{MN}$, donc

$$E(N, t_N) = E(M, t_N - t_{MN}).$$

Si on considère comment instant initial $t_M = 0$ alors

$$E(N, t_N) = E(M, t_N - t_{MN}).$$

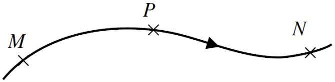
Cette relation est valable pour n'importe quel instant $t_N = t$, finalement

$$E(N, t) = E(M, t - t_{MN}).$$

Chemin optique

Retard de phase

Comment obtenir l'expression de E en N à partir de celle de E en M ?



Il faut ajouter **le retard de propagation** t_{MN} entre les deux points

$$E(N, t) = E(M, t - t_{MN}).$$

Pour une lumière monochromatique

Chemin optique

Retard de phase

Il faut ajouter **le retard de propagation** t_{MN} entre les deux points

$$E(N,t) = E(M, t - t_{MN}).$$

Pour une lumière monochromatique

$$E(N,t) = E(M)\cos\left(\omega\left(t - t_{MN}\right) - \varphi(M)\right).$$

À partir de l'expression précédente, on obtient le retard de phase $\varphi(N)$ au point N. Étudions la phase (l'argument de la fonction cosinus) de la vibration lumineuse en N

$$\begin{aligned}
\omega t - \varphi(N) &= \omega\,(t - t_{MN}) - \varphi(M) \\
-\varphi(N) &= -\omega t_{MN} - \varphi(M) \\
\varphi(N) &= \omega \frac{(MN)}{c_0} + \varphi(M) \\
\varphi(N) &= \varphi(M) + \frac{2\pi}{\lambda_0}(MN).
\end{aligned}$$

Chemin optique

Retard de phase

À partir de l'expression précédente, on obtient le retard de phase $\varphi(N)$ au point N. Étudions la phase (l'argument de la fonction cosinus) de la vibration lumineuse en N

$$\begin{aligned}\omega t - \varphi(N) &= \omega\left(t - t_{MN}\right) - \varphi(M)\\ -\varphi(N) &= -\omega t_{MN} - \varphi(M)\\ \varphi(N) &= \omega\frac{(MN)}{c_0} + \varphi(M)\\ \varphi(N) &= \varphi(M) + \frac{2\pi}{\lambda_0}(MN).\end{aligned}$$

Le retard de phase accumulé par une vibration lumineuse par rapport à un point croît proportionnellement avec le chemin optique.

Chemin optique

Retard de phase

Dans certains cas, la vibration lumineuse subit un déphasage supplémentaire de π lorsque la vibration

- subit une réflexion sur une surface métallique
- subit une réflexion d'un milieu moins réfringent à plus réfringent
- passe par un point de convergence (dû, par exemple, au passage par une lentille convergente).

Chemin optique

Surface d'onde

La surface d'onde relative au point source S est une surface formée des points M tels que $(SM) = \mathrm{cst}$, soit des points ayant la même valeur de retard de phase $\varphi(M) = \mathrm{cst}$.

Chemin optique

Surface d'onde

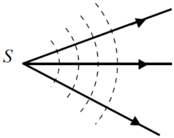
La surface d'onde relative au point source S est une surface formée des points M tels que $(SM) = \mathrm{cst}$, soit des points ayant la même valeur de retard de phase $\varphi(M) = \mathrm{cst}$.
Dans ce cas la vibration lumineuse a la même valeur en tout point M de la surface d'onde.

Chemin optique

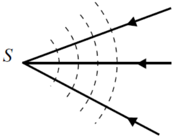
Surface d'onde

La surface d'onde relative au point source S est une surface formée des points M tels que $(SM) = \mathrm{cst}$, soit des points ayant la même valeur de retard de phase $\varphi(M) = \mathrm{cst}$.
Dans ce cas la vibration lumineuse a la même valeur en tout point M de la surface d'onde.

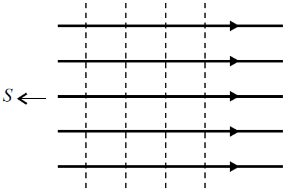
On peut représenter les surface d'onde à un instant t par des plans en pointillés séparés par une longueur d'onde λ (ou λ_0 dans le vide).



sphérique divergente



sphérique convergente



plane

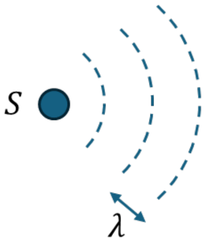
Théorème de Malus : les surfaces d'onde relatives au point source S sont orthogonales aux rayons lumineux issus de S.

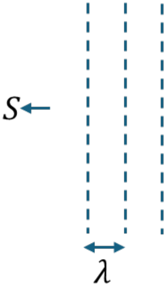
Chemin optique

Théorème de Malus

Théorème de Malus : les surfaces d'onde relatives au point source S sont orthogonales aux rayons lumineux issus de S.

Prenons l'exemple d'une onde sphérique divergente et d'une onde plane



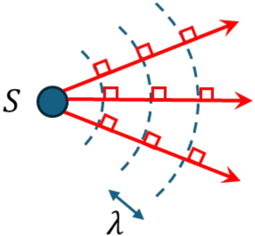


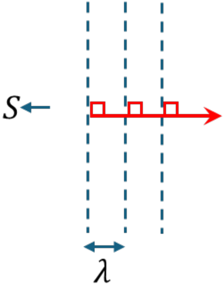
Chemin optique

Théorème de Malus

Théorème de Malus : les surfaces d'onde relatives au point source S sont orthogonales aux rayons lumineux issus de S.

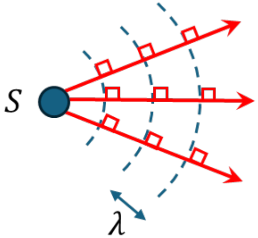
Prenons l'exemple d'une onde sphérique divergente et d'une onde plane

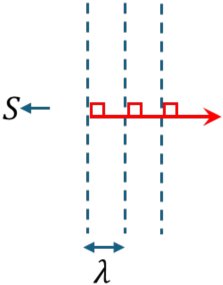




Théorème de Malus : les surfaces d'onde relatives au point source S sont orthogonales aux rayons lumineux issus de S.

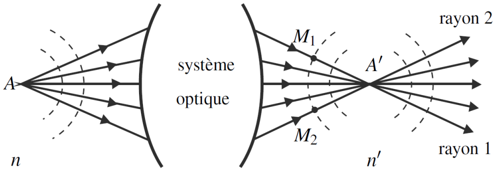
Prenons l'exemple d'une onde sphérique divergente et d'une onde plane





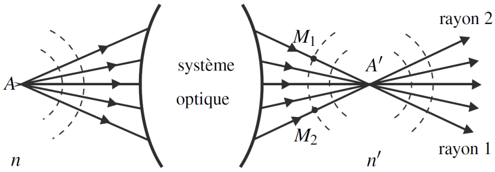
À partir des surfaces d'ondes (modèle ondulatoire) on obtient les rayons lumineux (modèle géométrique) donnant la direction de propagation de la lumière.

Considérons un système optique conjuguant un point objet A et un point image A'. On a tracé les surfaces d'onde et, à partir du théorème de Malus, on trace les rayons **perpendiculaires** à ces surfaces.



Chemin optique

Égalité des chemins optiques entre points conjugués

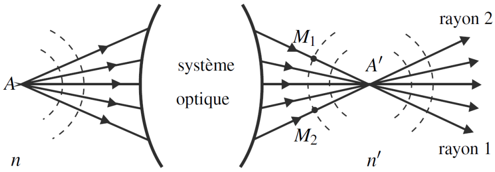


Étudions le chemin optique du rayon du haut passant par le point M_1.

$$(AA')_1 = (AM_1) + (M_1 A').$$

Chemin optique

Égalité des chemins optiques entre points conjugués



Étudions le chemin optique du rayon du haut passant par le point M_1.

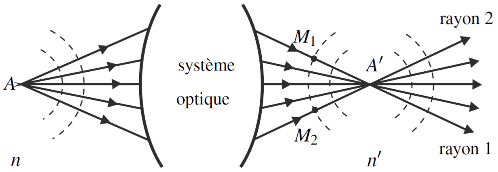
$$(AA')_1 = (AM_1) + (M_1A').$$

On compare au chemin optique du rayon du bas passant par M_2.

$$(AA')_2 =$$

Chemin optique

Égalité des chemins optiques entre points conjugués



Étudions le chemin optique du rayon du haut passant par le point M_1.

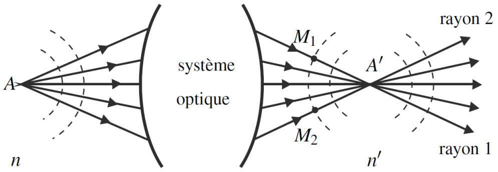
$$(AA')_1 = (AM_1) + (M_1A').$$

On compare au chemin optique du rayon du bas passant par M_2.

$$(AA')_2 = (AM_2) + (M_2A').$$

Chemin optique

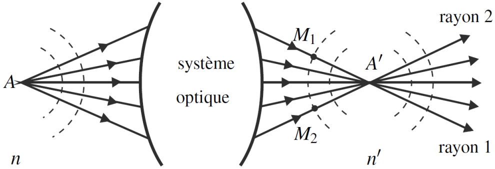
Égalité des chemins optiques entre points conjugués



On peut voir sur le schéma que M_1 et M_2 sont sur la même surface d'onde alors **leur chemin optique est le même** : $(AM_1) = (AM_2) = nAM_1$.

Chemin optique

Égalité des chemins optiques entre points conjugués

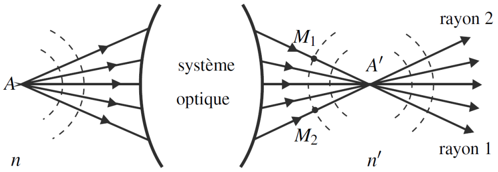


On peut voir sur le schéma que M_1 et M_2 sont sur la même surface d'onde alors **leur chemin optique est le même** : $(AM_1) = (AM_2) = nAM_1$.

De plus, M_1 et M_2 sont sur la même sphère de rayon $M_1A' = M_2A'$, donc les chemins optiques $(M_1A') = (M_2A') = n'M_1A'$.

Chemin optique

Égalité des chemins optiques entre points conjugués



On peut voir sur le schéma que M_1 et M_2 sont sur la même surface d'onde alors **leur chemin optique est le même** : $(AM_1) = (AM_2) = nAM_1$.

De plus, M_1 et M_2 sont sur la même sphère de rayon $M_1A' = M_2A'$, donc les chemins optiques $(M_1A') = (M_2A') = n'M_1A'$.

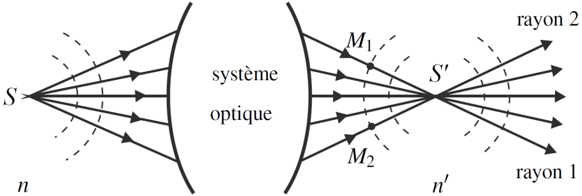
Ainsi, lorsque deux points A et A' sont conjugués par un système optique, le chemin optique (AA') est le même le long de tous les rayons allant de A à A'.

Plan

Onde sphérique et onde plane

Onde sphérique

Une onde sphérique correspond à une onde dont

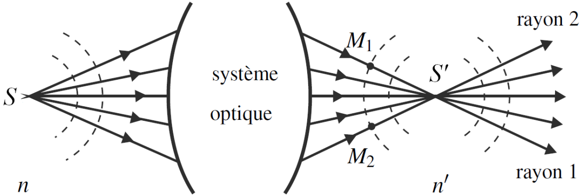


Onde sphérique et onde plane

Onde sphérique

Une onde sphérique correspond à une onde dont

- les rayons lumineux sont des droites concourantes en un point S

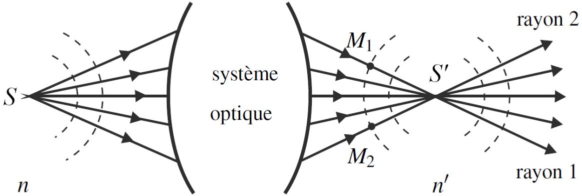


Onde sphérique et onde plane

Onde sphérique

Une onde sphérique correspond à une onde dont

- les rayons lumineux sont des droites concourantes en un point S
- les surfaces d'onde sont des sphères centrées sur S.

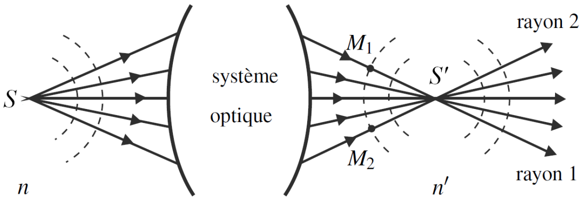


Onde sphérique et onde plane

Onde sphérique

Une onde sphérique correspond à une onde dont

- les rayons lumineux sont des droites concourantes en un point S
- les surfaces d'onde sont des sphères centrées sur S.



Lorsqu'un système optique donne une image S' à une distance finie à partir d'une source ponctuelle S, l'onde issue du système est une onde sphérique centrée sur S'.

Comment exprimer **le retard de phase pour une onde sphérique** divergente ?

Un rayon arrivant en un point M quelconque est donc forcément issue de la source S. On peut donc obtenir le retard de phase $\varphi(M)$ en M à partir de celui de la source

Comment exprimer **le retard de phase pour une onde sphérique** divergente ?

Un rayon arrivant en un point M quelconque est donc forcément issue de la source S. On peut donc obtenir le retard de phase $\varphi(M)$ en M à partir de celui de la source

$$\varphi(M) = \varphi(S) + \frac{2\pi}{\lambda_0}(SM) = \varphi(S) + \frac{2\pi}{\lambda_0} nSM.$$

On pourra noter $\varphi(S) = \varphi_0$ le retard de phase en S.

Comment varie **l'amplitude d'onde sphérique** ?

Comme la surface $\mathcal{S}$ de la surface d'onde croît avec la distance SM, $\mathcal{S} = 4\pi SM$, l'amplitude de l'onde diminue car elle se “répartit”sur la surface d'onde qui augmente. On admet que l'amplitude de l'onde sphérique de source S est

$$E(M) = \frac{A}{SM} \quad \text{soit} \quad E(M,t) = \frac{A}{SM}\cos\left(\omega t - \varphi(S) \pm \frac{2\pi}{\lambda}(SM)\right)$$

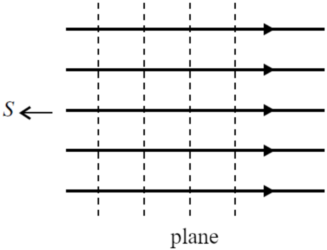
avec A une constante, $+$ pour l'onde convergente et $-$ pour la divergente.

Dans la plupart des cas, on considérera que la distance SM est quasiment constante dans la zone d'intérêt ete donc que $\frac{A}{SM} \approx \mathrm{cst}$.

Onde sphérique et onde plane

Onde plane

Une onde plane correspond à une onde dont

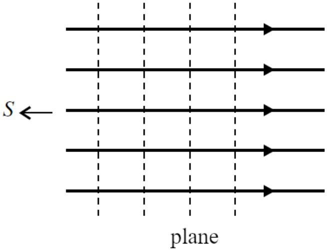


Onde sphérique et onde plane

Onde plane

Une onde plane correspond à une onde dont

- les rayons lumineux sont des droites parallèles entre elles

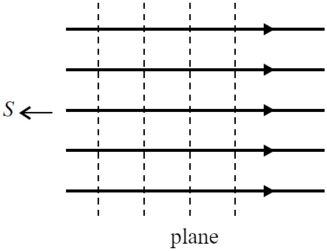


Onde sphérique et onde plane

Onde plane

Une onde plane correspond à une onde dont

- les rayons lumineux sont des droites parallèles entre elles
- les surfaces d'onde sont des plans parallèles entre eux appelés **plans d'onde**.

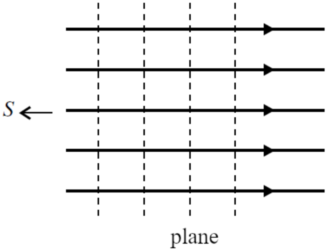


Onde sphérique et onde plane

Onde plane

Une onde plane correspond à une onde dont

- les rayons lumineux sont des droites parallèles entre elles
- les surfaces d'onde sont des plans parallèles entre eux appelés **plans d'onde**.



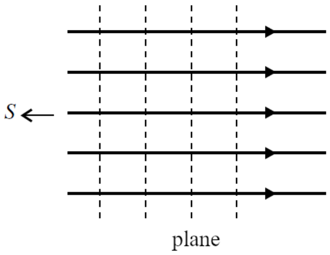
D'après le théorème de Malus les plans d'onde sont orthogonaux aux rayons lumineux.

Onde sphérique et onde plane

Onde plane

Une onde plane correspond à une onde dont

- les rayons lumineux sont des droites parallèles entre elles
- les surfaces d'onde sont des plans parallèles entre eux appelés **plans d'onde**.



D'après le théorème de Malus les plans d'onde sont orthogonaux aux rayons lumineux.

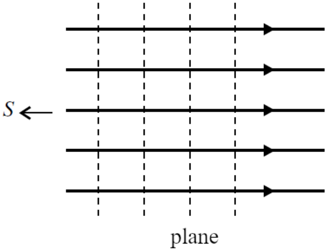
Les situations réelles modélisables par une onde plane sont :

Onde sphérique et onde plane

Onde plane

Une onde plane correspond à une onde dont

- les rayons lumineux sont des droites parallèles entre elles
- les surfaces d'onde sont des plans parallèles entre eux appelés **plans d'onde**.



D'après le théorème de Malus les plans d'onde sont orthogonaux aux rayons lumineux.

Les situations réelles modélisables par une onde plane sont :

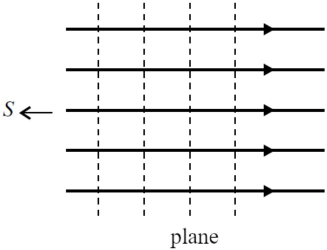
- l'onde d'un faisceau laser

Onde sphérique et onde plane

Onde plane

Une onde plane correspond à une onde dont

- les rayons lumineux sont des droites parallèles entre elles
- les surfaces d'onde sont des plans parallèles entre eux appelés **plans d'onde**.



D'après le théorème de Malus les plans d'onde sont orthogonaux aux rayons lumineux.

Les situations réelles modélisables par une onde plane sont :

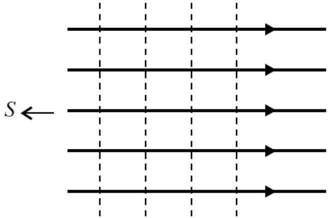
- l'onde d'un faisceau laser
- la lumière provenant d'une source quasi ponctuelle très éloigné (distance $\gg$ dimensions des instruments), ex : une étoile

Onde sphérique et onde plane

Onde plane

Une onde plane correspond à une onde dont

- les rayons lumineux sont des droites parallèles entre elles
- les surfaces d'onde sont des plans parallèles entre eux appelés **plans d'onde**.



plane

D'après le théorème de Malus les plans d'onde sont orthogonaux aux rayons lumineux.

Les situations réelles modélisables par une onde plane sont :

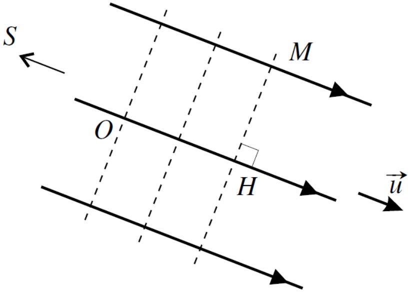
- l'onde d'un faisceau laser
- la lumière provenant d'une source quasi ponctuelle très éloigné (distance $\gg$ dimensions des instruments), ex : une étoile
- l'onde produite par un **collimateur** soit une source ponctuelle placée dans le plan focal objet d'une lentille convergente.

Onde sphérique et onde plane

Onde plane

Comment exprimer **le retard de phase pour une onde plane** ?

Un rayon arrivant en un point M est issue de S à l'infini. Comme S n'est pas accessible, on utilise un autre point de référence arbitraire O pour exprimer le retard de phase $\varphi(M)$ au point M par rapport au point O.

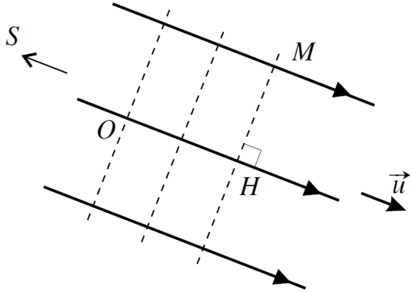


Onde sphérique et onde plane

Onde plane

Comment exprimer **le retard de phase pour une onde plane** ?

Un rayon arrivant en un point M est issue de S à l'infini. Comme S n'est pas accessible, on utilise un autre point de référence arbitraire O pour exprimer le retard de phase $\varphi(M)$ au point M par rapport au point O.



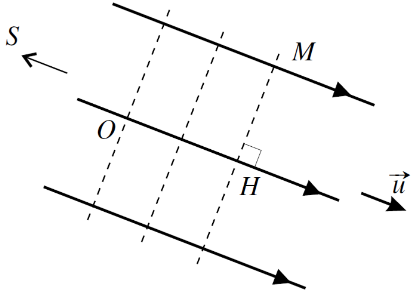
Or, on voit que H est sur le même plan d'onde que M. Donc $\varphi(M) = \varphi(H)$. Comme H est sur le même rayon que O, le retard de phase $\varphi(M)$ s'écrit simplement

Onde sphérique et onde plane

Onde plane

Comment exprimer **le retard de phase pour une onde plane** ?

Un rayon arrivant en un point M est issue de S à l'infini. Comme S n'est pas accessible, on utilise un autre point de référence arbitraire O pour exprimer le retard de phase $\varphi(M)$ au point M par rapport au point O.



Or, on voit que H est sur le même plan d'onde que M. Donc $\varphi(M) = \varphi(H)$. Comme H est sur le même rayon que O, le retard de phase $\varphi(M)$ s'écrit simplement

$$\varphi(M) = \varphi(H) = \varphi(O) + \frac{2\pi}{\lambda_0}(OH).$$

Pour calculer le retard de phase en certains points (ondes plane ou sphérique), il sera utile, dans certains cas, d'employer **le principe de retour inverse de la lumière** : le trajet suivi par la lumière est indépendant du sens de propagation.

Ainsi, si n'on arrive pas à calculer la différence de phase entre deux points en considérant la propagation de la lumière dans un sens, peut-être est-il plus judicieux de considérer que la lumière se propage dans l'autre sens. Dans ce cas les points images deviennent des points objets, et vice-versa.

Concernant l'**amplitude d'une onde plane**, on admettra que **l'amplitude d'une onde plane reste constante**.

Dans les conditions de Gauss, une lentille respecte le stigmatisme approché, donc un point objet A est conjugué à une image ponctuelle A'.

Dans les conditions de Gauss, une lentille respecte le stigmatisme approché, donc un point objet A est conjugué à une image ponctuelle A'.

Cela se traduit par la transformation d'**une onde sphérique** de centre A par lentille en **une onde sphérique** de centre A' (convergente ou divergente selon la nature de la lentille).

Onde sphérique et onde plane

Effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss

Dans les conditions de Gauss, une lentille respecte le stigmatisme approché, donc un point objet A est conjugué à une image ponctuelle A'.

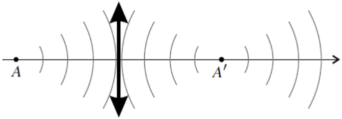
Cela se traduit par la transformation d'**une onde sphérique** de centre A par lentille en **une onde sphérique** de centre A' (convergente ou divergente selon la nature de la lentille).

Si l'**un des deux points est à l'infini**, l'onde qui lui correspond est **une onde plane**.

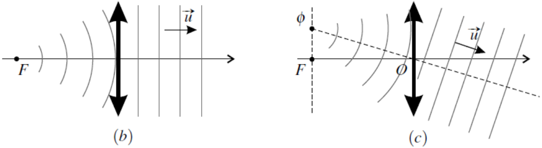
Onde sphérique et onde plane

Effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss

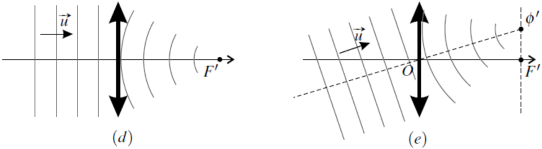
Quelques exemples avec une lentille divergente.



(a)



(b) (c)



(d) (e)