

Optique ondulatoire

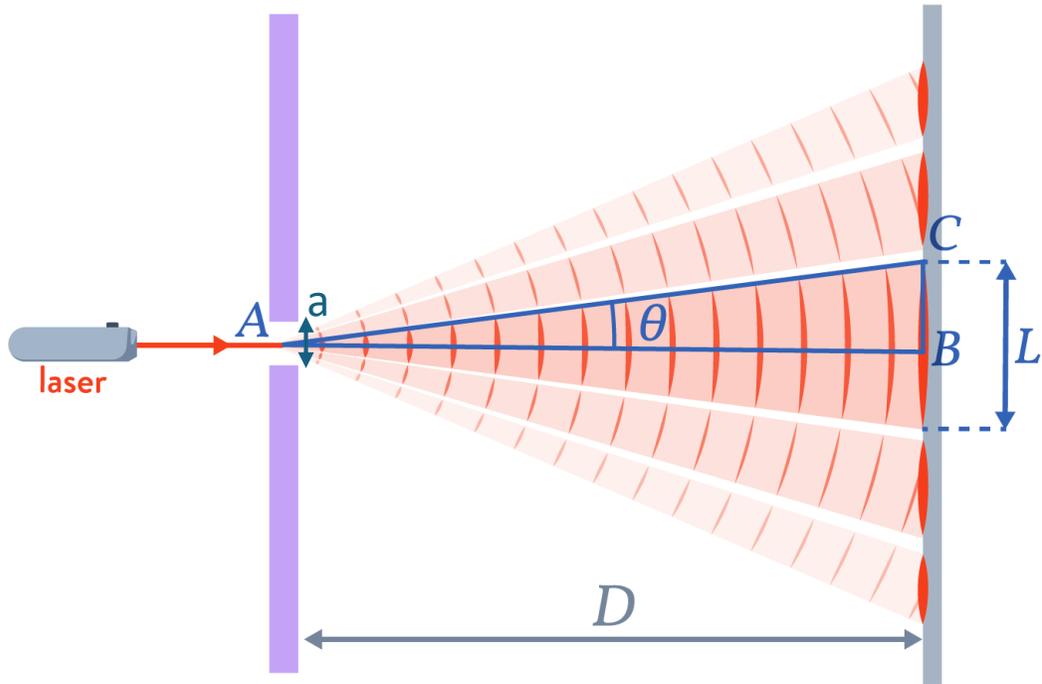
- La réflexion et la réfraction de la lumière, ainsi que le fonctionnement des instruments d'optique, sont bien modélisés par l'utilisation de rayons lumineux.
- Mais la lumière, c'est aussi une onde, se propageant à la vitesse $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, et dont la longueur d'onde est très courte : $400 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$.
- L'optique ondulatoire réunit ces deux descriptions.

Photo : [science et vie](#)

Optique ondulatoire

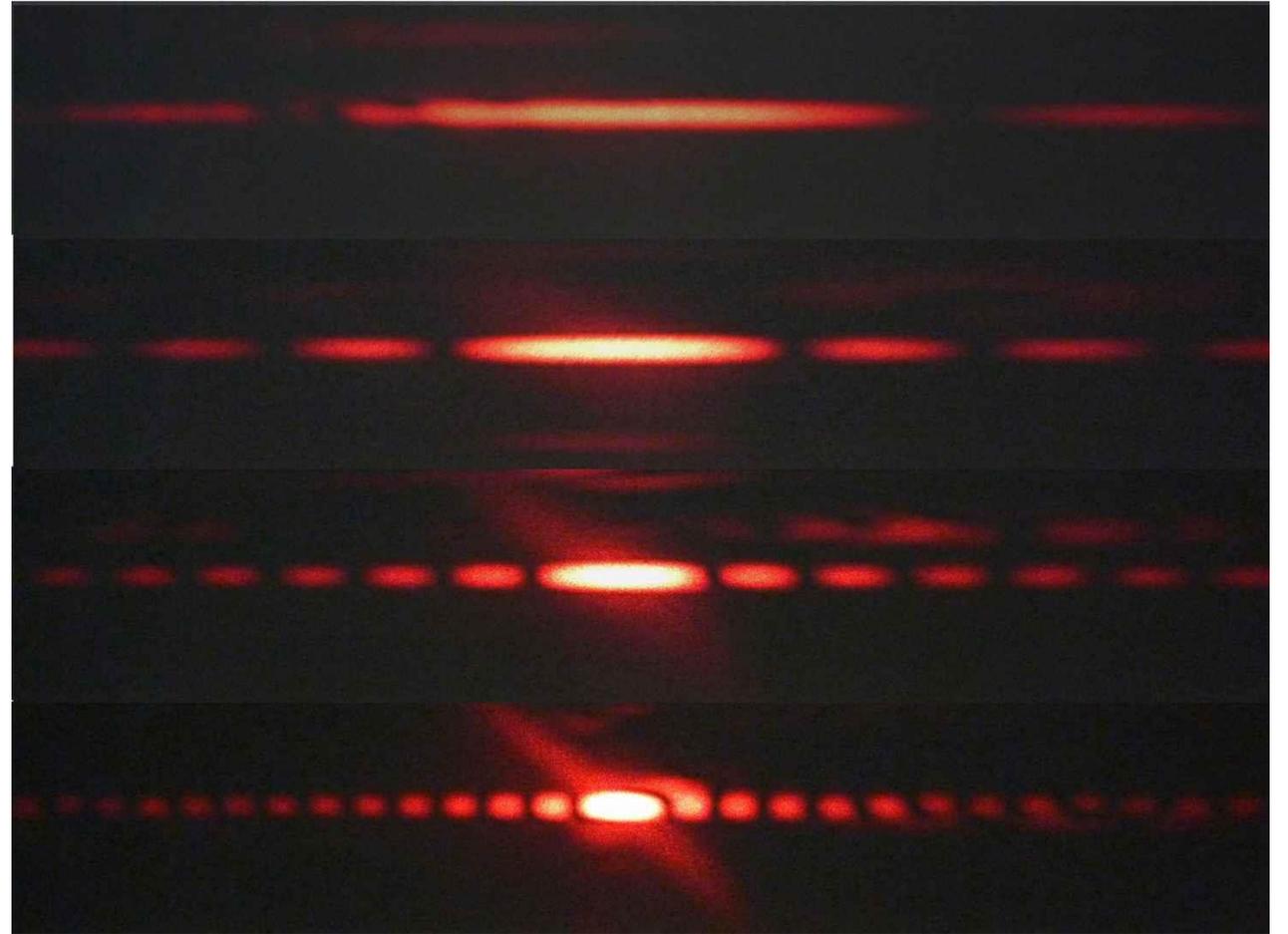
1. Diffraction de la lumière
2. Surfaces d'onde, chemin optique
3. Théorème de Malus, formation des images
4. Lois de Descartes et surfaces d'onde

1. Diffraction de la lumière



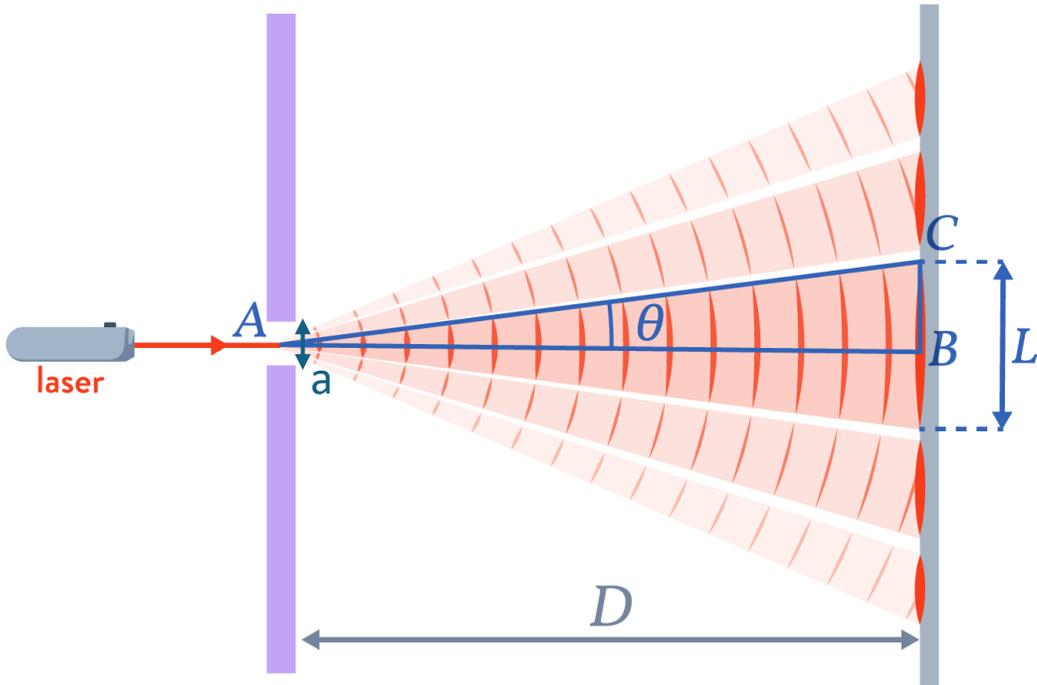
Expérience réalisée en classe.
Schéma : schoolmoov.fr

La lumière ne va plus en ligne droite.
Elle s'étale dans une direction perpendiculaire à la fente. L'optique géométrique est insuffisante pour décrire ce phénomène de diffraction.



Figures de diffraction observées pour 4 largeurs de fentes a de plus en plus grandes.
Plus la fente est fine, plus la figure est étalée et moins lumineuse.

Largeur de la tache centrale de diffraction



La théorie de la diffraction permet de montrer que la demi-largeur angulaire de la tache centrale est donnée par

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{a}$$

Or, dans notre expérience, $D \gg L$, donc $\theta \ll 1$ en radians, et $\sin \theta \approx \theta$, $\tan \theta \approx \theta$.

Géométriquement

$$\tan \theta = \frac{\frac{L}{2}}{D} = \frac{L}{2D}$$

Donc, finalement,

$$\frac{L}{2D} \approx \frac{\lambda}{a}$$

$$L \approx \frac{2D\lambda}{a}$$

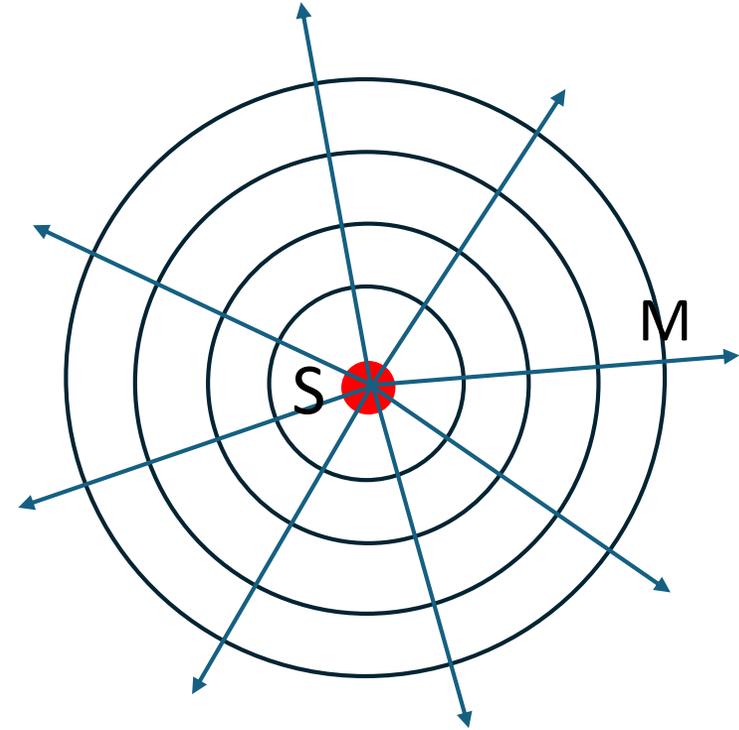
2. Surfaces d'onde, chemin optique

Considérons une source lumineuse ponctuelle, par exemple une étoile. Elle émet de la lumière dans toutes les directions de façon isotrope. On peut représenter cela à l'aide de rayons lumineux, et de surfaces d'onde.

Surface d'onde : ensemble de points tels que le temps de parcours de l'onde depuis la source est identique.

Temps de parcours depuis la source S, jusqu'au point M:

$$\Delta t = \frac{SM}{c}$$



Tous les points d'une sphère centrée sur S ont le même temps de parcours depuis S :
Les surfaces d'ondes sont des sphères
⇒ onde sphérique

Déformations d'une surface d'onde

Supposons que la lumière émise traverse un nuage de gaz interstellaire. L'onde se trouve ralentie dans le nuage, les rayons lumineux sont déviés, et les surfaces d'onde se déforment.

Définition : indice optique d'un milieu transparent

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

c vitesse de la lumière dans le vide
 v vitesse de la lumière dans le milieu.

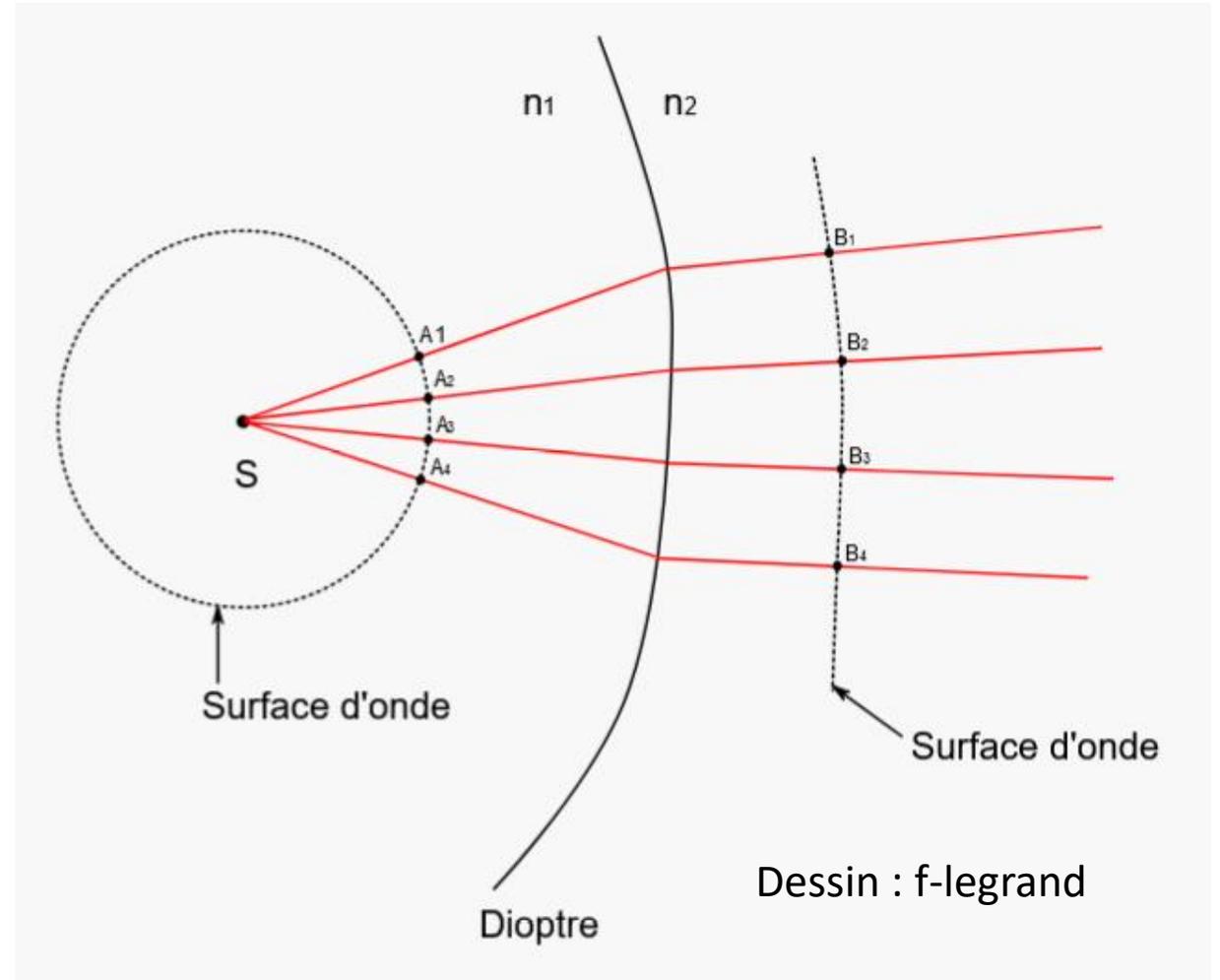
$$n \geq 1$$

$n = 1$ dans le vide

n très proche de 1 dans l'air

$n \approx 1,3$ dans l'eau

$n \approx 1,5$ dans l'air



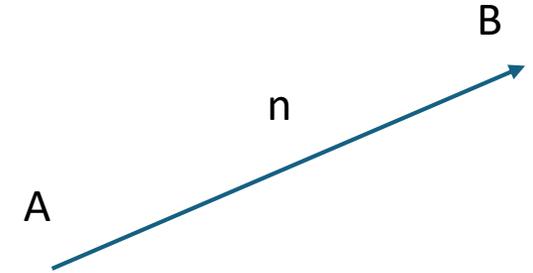
Chemin optique le long d'un rayon

Le chemin optique entre deux points A et B situés sur un même rayon lumineux se propageant dans un milieu d'indice n est défini par

$$(AB) = nAB$$

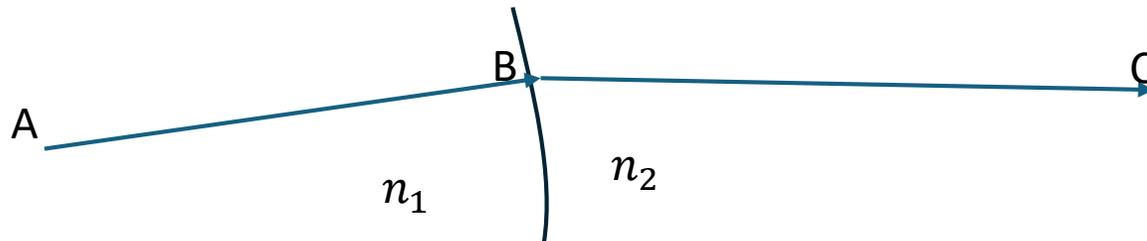
Intérêt : le temps de parcours de la lumière entre A et B est

$$\Delta t = \frac{AB}{v} = \frac{AB}{\frac{c}{n}} = \frac{nAB}{c} = \frac{(AB)}{c}$$

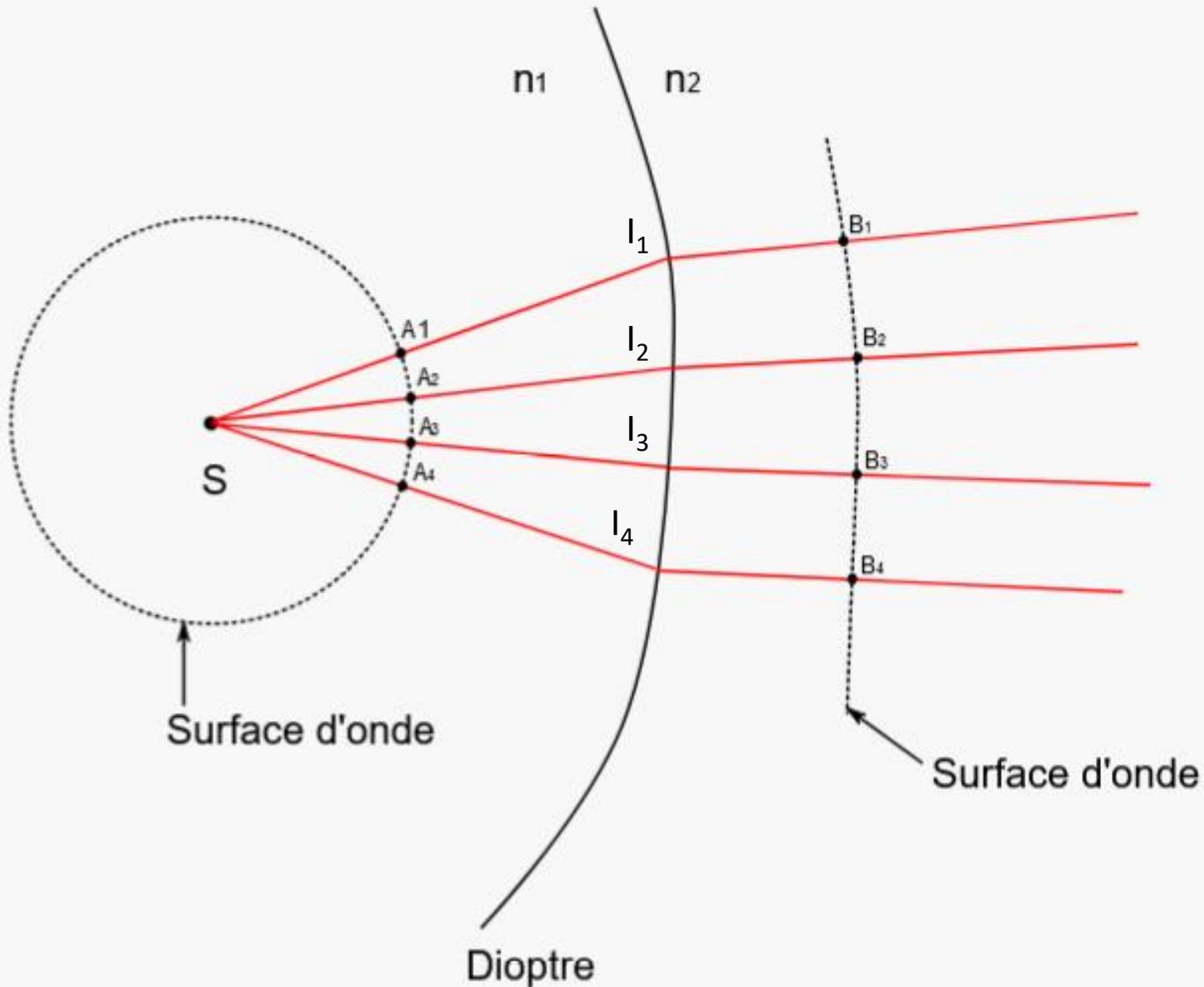


Une surface d'onde est donc l'ensemble des points tels que $(SM) = cte$

Propriété : relation de Chasles. $(AC) = (AB) + (BC) = n_1AB + n_2BC$



Décomposition d'un chemin optique



Surfaces d'onde :

$$(SA_1) = (SA_2) = (SA_3) = (SA_4)$$

$$(SB_1) = (SB_2) = (SB_3) = (SB_4)$$

On peut décomposer dans les milieux homogènes d'indices n_1 et n_2

$$(SB_1) = (SI_1) + (I_1B_1) = n_1SI_1 + n_2I_1B_1$$

$$(SB_2) = (SI_2) + (I_2B_2) = n_1SI_2 + n_2I_2B_2$$

$$(SB_3) = (SI_3) + (I_3B_3) = n_1SI_3 + n_2I_3B_3$$

$$(SB_4) = (SI_4) + (I_4B_4) = n_1SI_4 + n_2I_4B_4$$

3. Théorème de Malus, formation des images

Théorème de Malus : les rayons lumineux sont perpendiculaires aux surfaces d'onde.

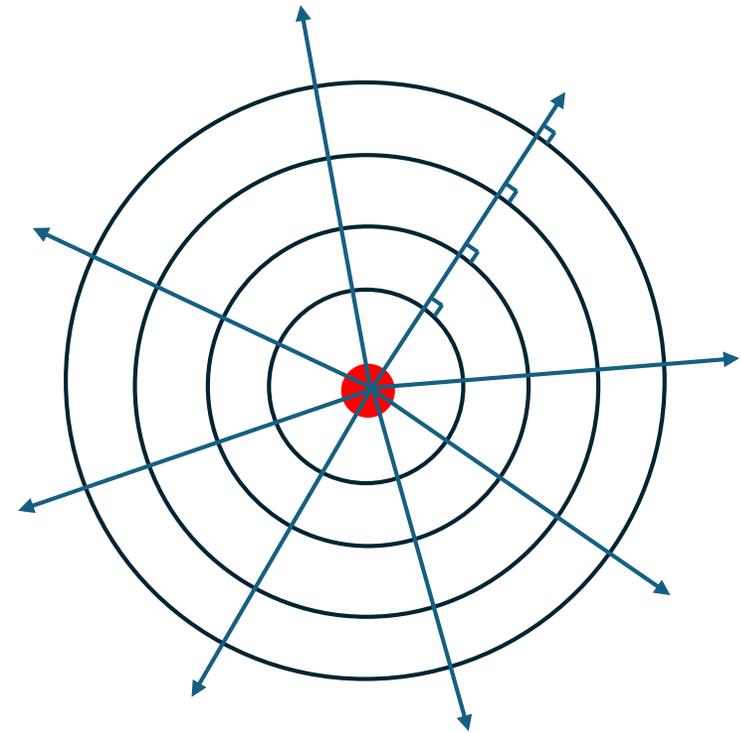
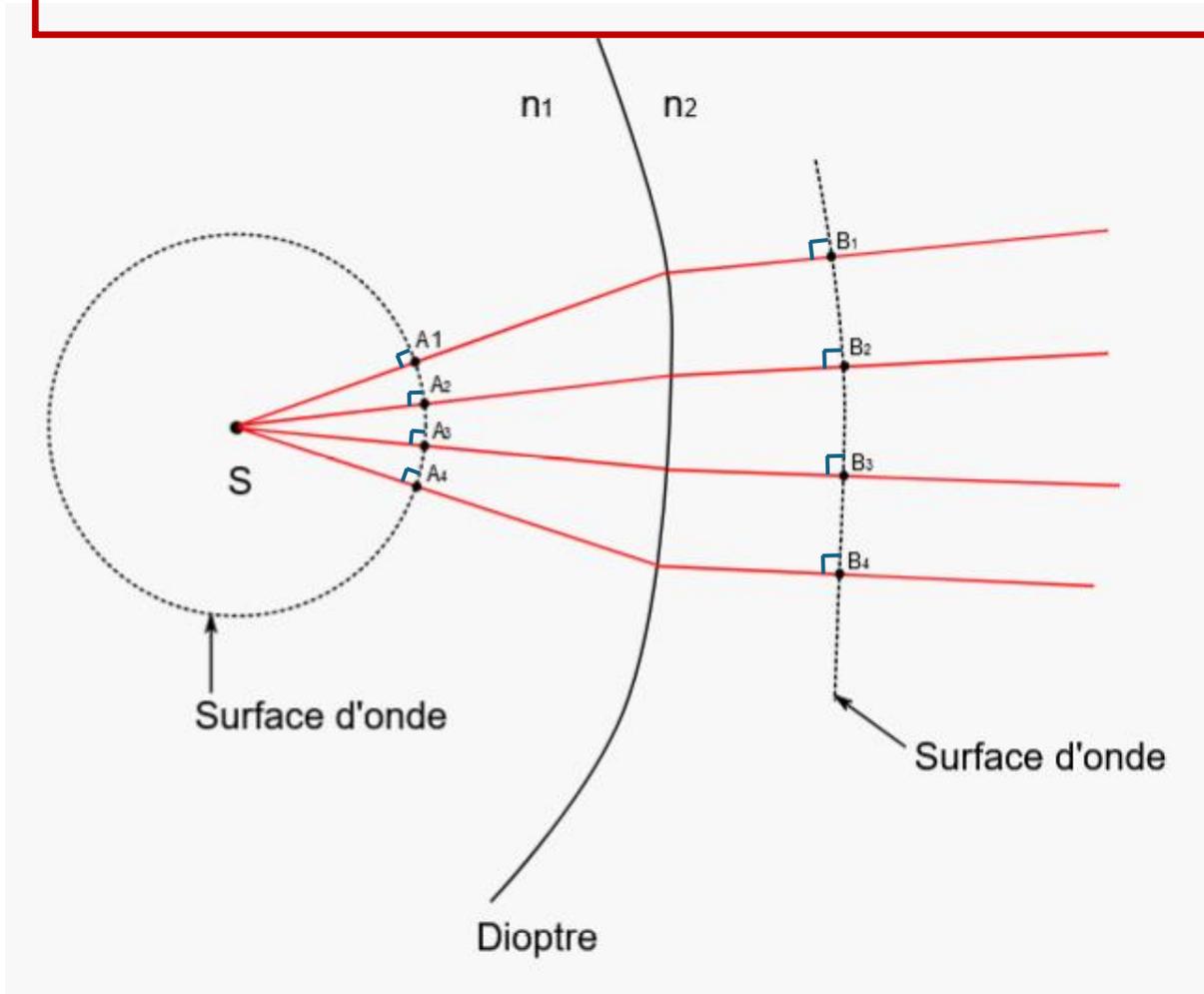
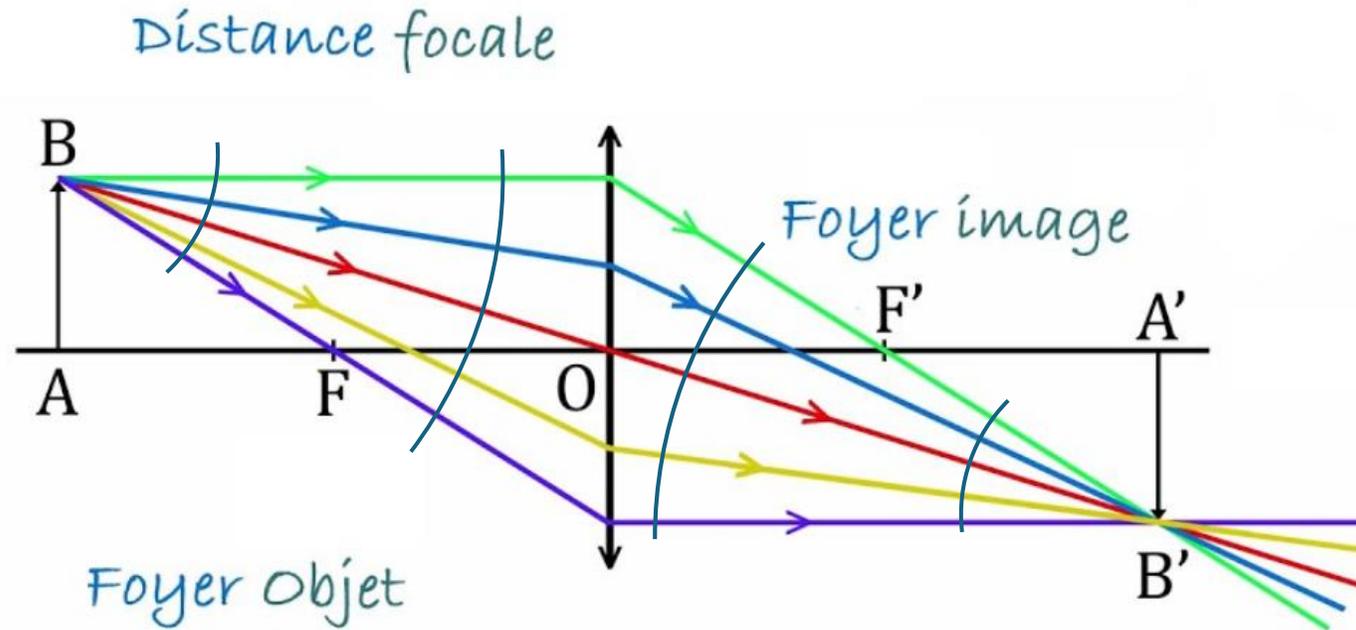


Image par une lentille



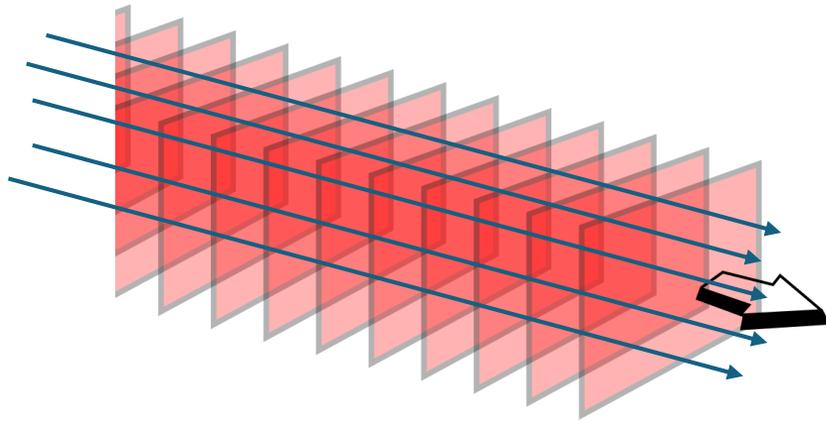
L'image B' du point objet B par la lentille est l'intersection des rayons issus de B et déviés par la lentille.

La lentille transforme une surface d'onde sphérique divergente, en surface d'onde sphérique convergente.

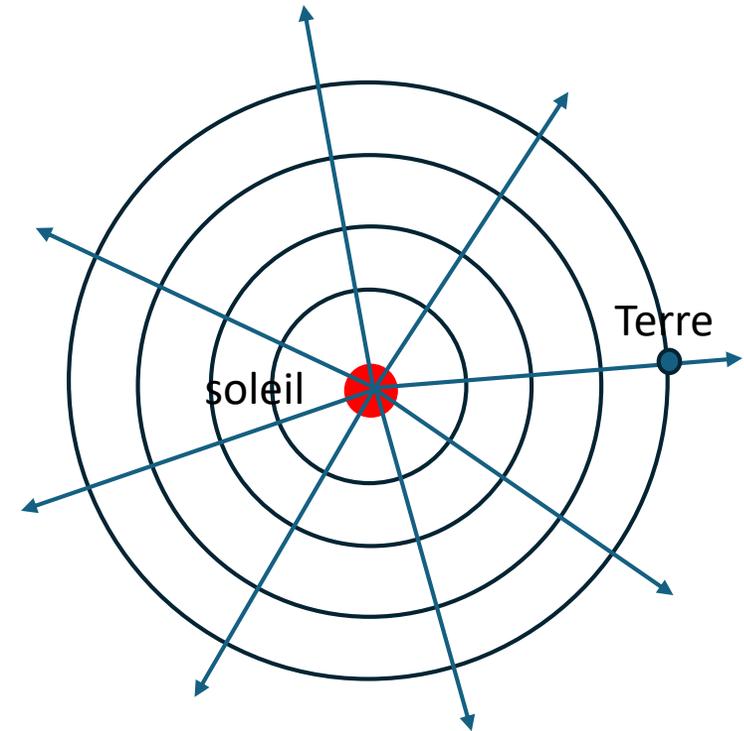
Par définition d'une surface d'onde, le temps de parcours (et le chemin optique) sont les mêmes pour tous les rayons passant par B et B' .

Ondes planes

Loin de la source, la courbure des surfaces d'ondes n'est plus perceptible. Les rayons lumineux semblent tous parallèles. L'onde est alors qualifiée d'onde plane.

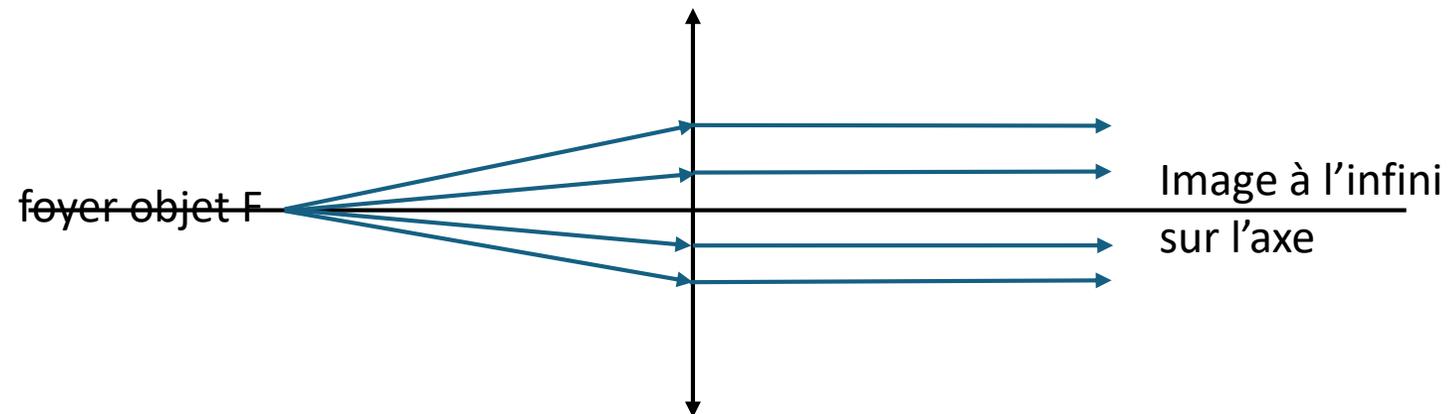
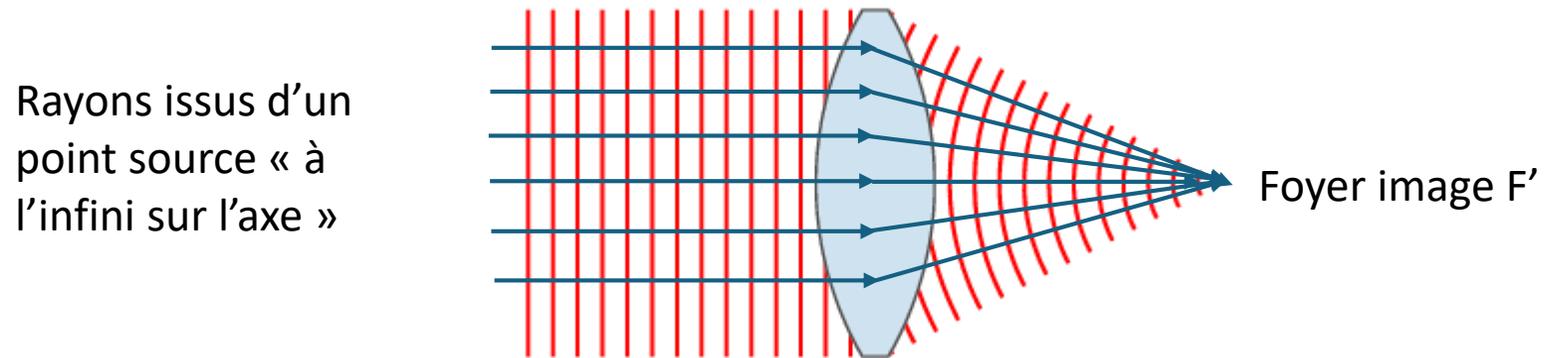


Les surfaces d'onde sont des plans.
Les rayons lumineux sont perpendiculaires à ces plans.

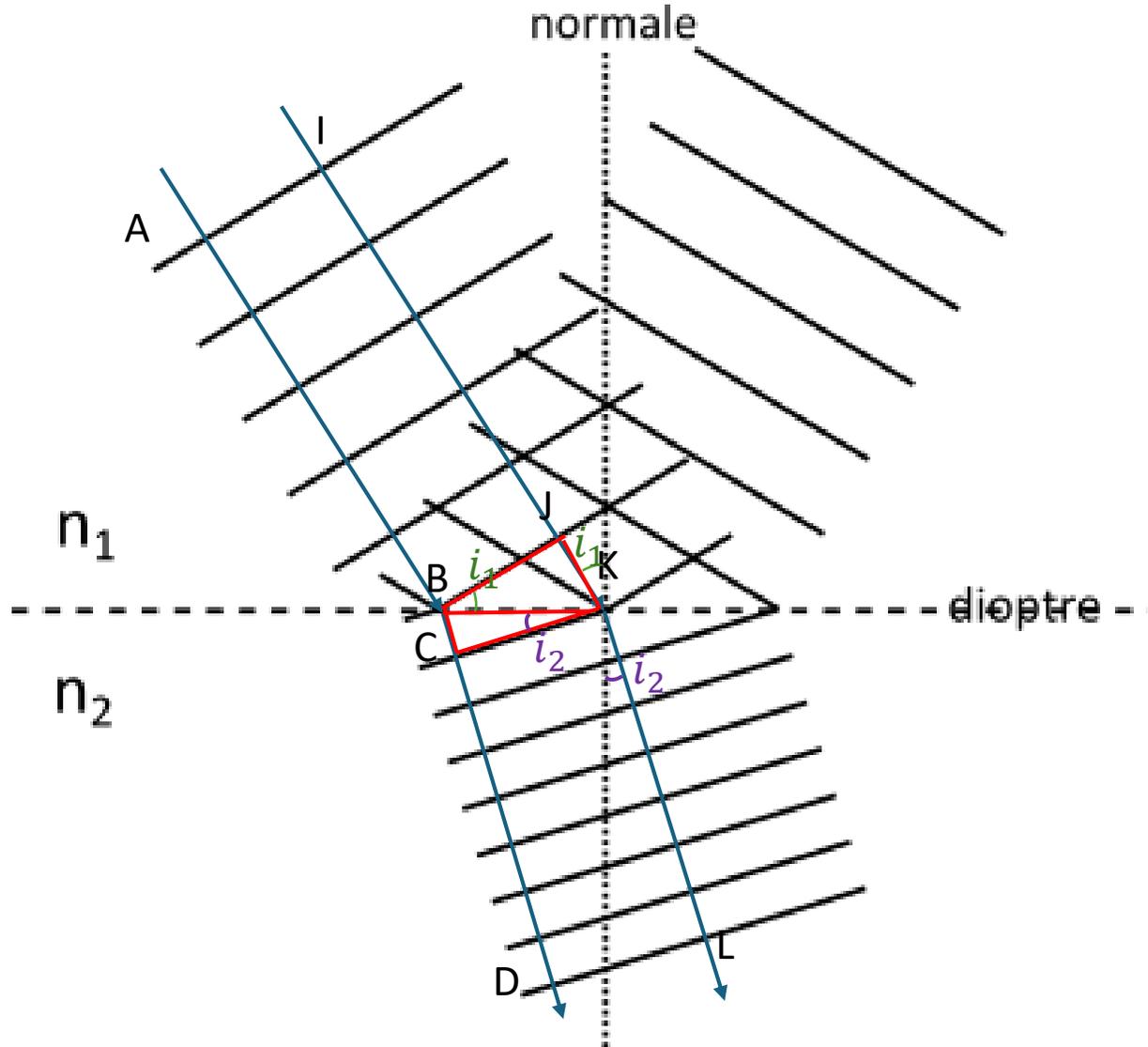


Foyers

Une lentille peut transformer une onde plane en onde sphérique, et inversement.



4. Troisième loi de Descartes et surfaces d'onde



Par définition d'une surface d'onde,

$$(AD) = (IL)$$

On décompose en suivant les rayons lumineux perpendiculaires aux surfaces d'onde

$$(AB) + (BC) + (CD) = (IJ) + (JK) + (KL)$$

Or, $(AB) = (IJ)$ et $(CD) = (KL)$

donc

$$(BC) = (JK)$$

$$n_2 BC = n_1 JK$$

$$n_2 BK \sin i_2 = n_1 BK \sin i_1$$

$$\boxed{n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2}$$