

# Optique Géométrique

---

## CHAPITRE 1

# Principes de bases de l'Optique Géométrique

Dr N'CHO Janvier Sylvestre

---

# Introduction

---

L'optique est la branche de la physique qui s'intéresse aux phénomènes lumineux. **L'optique décrit la lumière comme un ensemble de rayons lumineux, obéissant à un ensemble de règles géométriques très simples.** Elle n'est valable que lorsque la lumière n'est pas confrontée à des obstacles de petites tailles. Elle permet d'étudier les phénomènes de réflexion et de réfraction et fournit les bases pour une première étude des instruments d'optique. **On n'y spécifie pas la nature de la lumière.**

# Introduction

---

L'optique géométrique a de très nombreuses applications. Par exemple :

- la focalisation des rayons lumineux par exemple dans les fours solaires
- le guidage de la lumière (fibres optiques)
- la formation des images dans les instruments d'optique (télescopes, microscopes, projecteurs vidéo, appareils photo, caméra de cinéma, loupe, jumelles, lunette astronomique.
- elle permet de comprendre la vision humaine (et des animaux) et de corriger ses éventuels défauts.

---

# La lumière: ses différents modèles

---

# Définitions

---

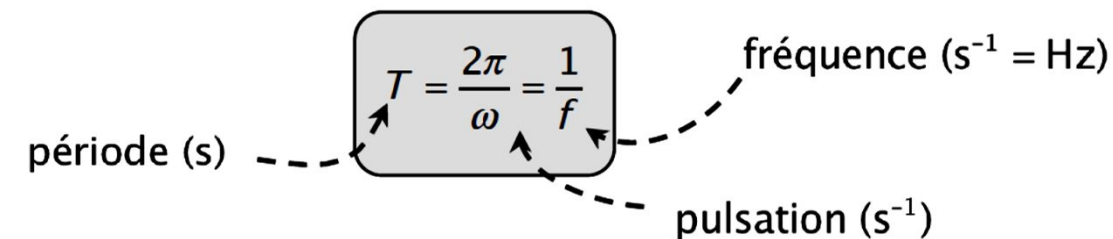
La lumière est une entité physique réelle mais sa nature est difficile à appréhender. La lumière est le **caméléon du monde physique**. Selon les circonstances, la lumière se comporte comme un faisceau **de particules** voyageant en ligne droite, comme **une onde** à l'image du son ou des vagues sur l'eau ou encore les deux à la fois. Il existe une théorie quantique (l'électrodynamique quantique) qui permet de décrire tous les phénomènes lumineux avec une très grande précision (c'est la théorie la plus précise que l'on possède) mais il s'agit d'une théorie très complexe. Il est plus simple, suivant les circonstances physiques, d'utiliser tel ou tel modèle (plus élémentaire) pour décrire les phénomènes lumineux.

---

# Le modèle ondulatoire (1)

Il s'agit d'un modèle très utilisé. Il permet en particulier de comprendre les phénomènes **d'interférences** et de **diffractions**. Dans ce modèle, la lumière est une « onde » qui se propage dans l'espace et dans le temps. La grandeur qui se propage et qui oscille de façon périodique est le champ électromagnétique  $(\vec{E}, \vec{B})$ . L'onde possède une double périodicité :

□ **Temporelle (intrinsèque):**



Au bout d'un intervalle de temps  $T$ , le champ électrique  $\vec{E}$  et le champ magnétique  $\vec{B}$  redeviennent identiques à eux mêmes :

$$\vec{E}(x, t + T) = \vec{E}(x, t)$$

$$\vec{B}(x, t + T) = \vec{B}(x, t)$$

# Le modèle ondulatoire (2)

□ Spatiale (liée à la vitesse de propagation dans le milieu considéré):

$$\lambda = v T$$

longueur d'onde (m) ——— vitesse de propagation (m.s<sup>-1</sup>)

Après une distance de  $\lambda = v T$ , le champ électrique  $\vec{E}$  et le champ magnétique  $\vec{B}$  redeviennent identiques à eux mêmes :

$$\vec{E}(x + \lambda, t) = \vec{E}(x, t)$$

$$\vec{B}(x + \lambda, t) = \vec{B}(x, t)$$

Dans le vide, la vitesse de la lumière est une constante et vaut  $c = 2,99792458 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup> (exactement) pour toutes les fréquences. Dans la matière, la vitesse de propagation de la lumière est telle que  $v < c$  et  $v$  dépend de la fréquence.

**L'œil n'est capable de voir qu'une faible partie du spectre des ondes électromagnétiques (que l'on appelle justement lumière) compris approximativement entre 400 nm pour le violet/bleu et 800 nm pour le rouge/infrarouge!**

# Le modèle géométrique

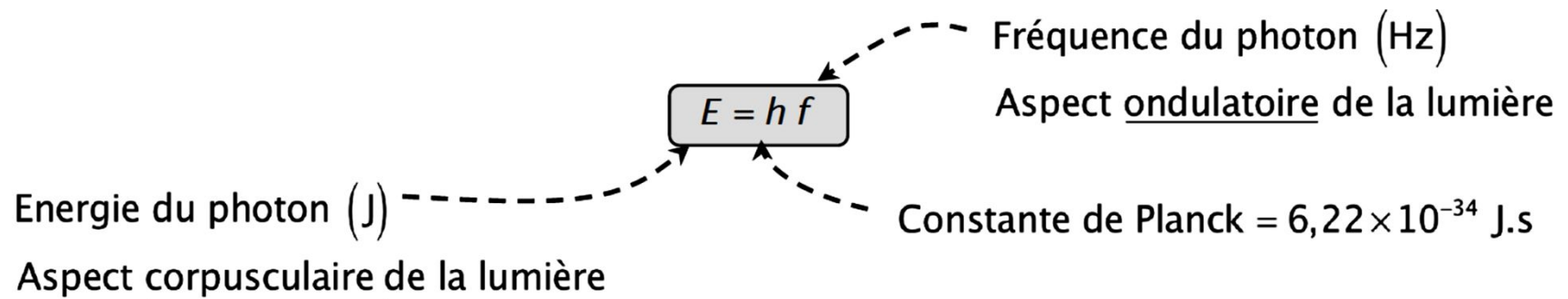
---

Ce modèle repose sur le fait que, dans de nombreux cas, la lumière se propage en **ligne droite** suivant des « **rayons lumineux** » qui indique la direction et le sens de propagation de l'énergie lumineuse. C'est ce que l'on va étudier cette année. Ce modèle est une approximation du modèle ondulatoire et n'est donc pas toujours compatible avec les phénomènes observés.



# Le modèle des photons (1)

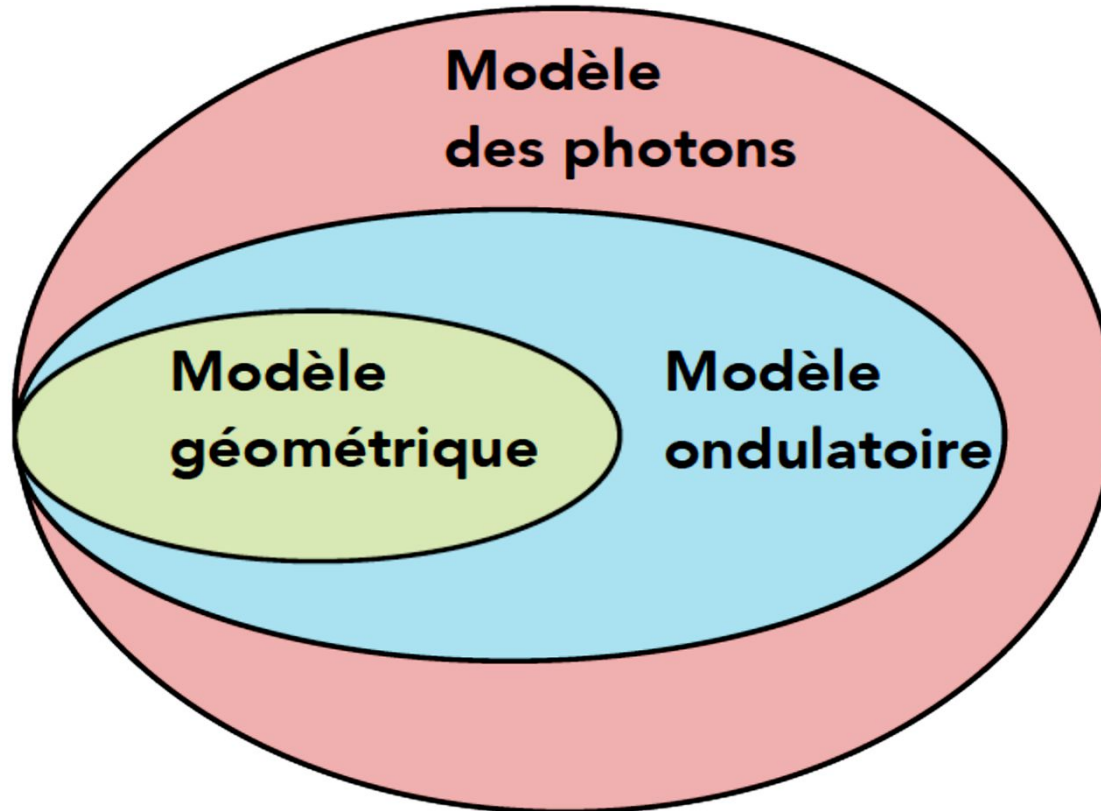
C'est le modèle le plus sophistiqué et le plus complet (il englobe les deux autres). Il fait appel à la physique quantique. La lumière est constituée **de photons** qui se comportent, suivant les circonstances, comme une onde ou comme une particule (ou corpuscule) de **masse nulle** qui se propage toujours **à la vitesse  $c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$**  dans le vide (un photon n'est jamais au « repos »). L'énergie transportée par un photon de fréquence  $f$  est donnée par la relation de Planck-Einstein :



# Le modèle des photons (2)

---

La figure ci-dessous résume l'imbrication des différents modèles de la lumière.



---

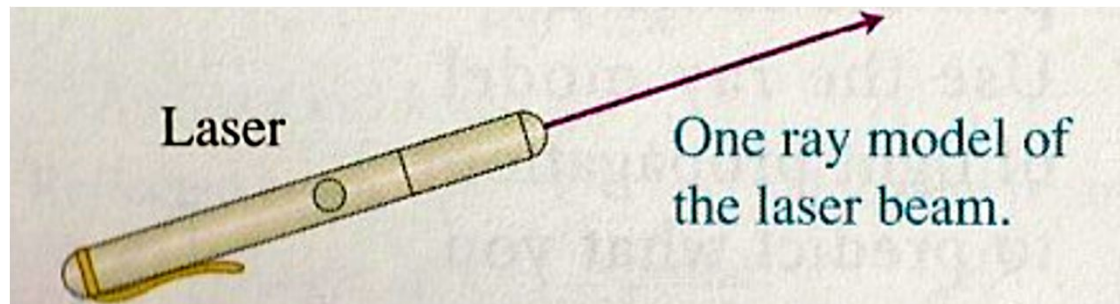
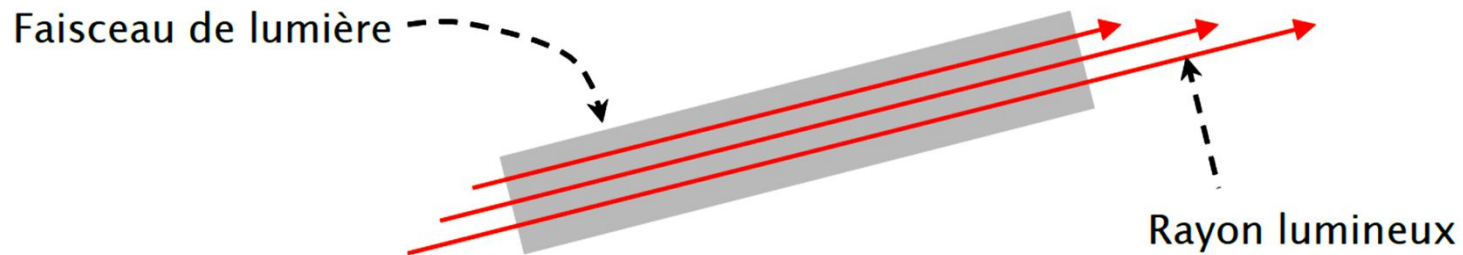
# Rayons Lumineux

---

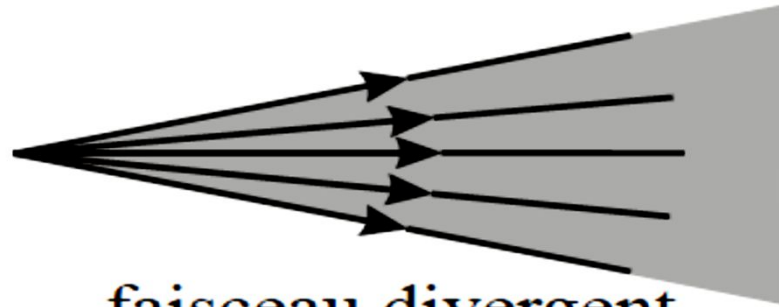
# Définitions (1)

Il s'agit d'une « ligne » qui indique **le sens et la direction de l'écoulement de l'énergie lumineuse.**

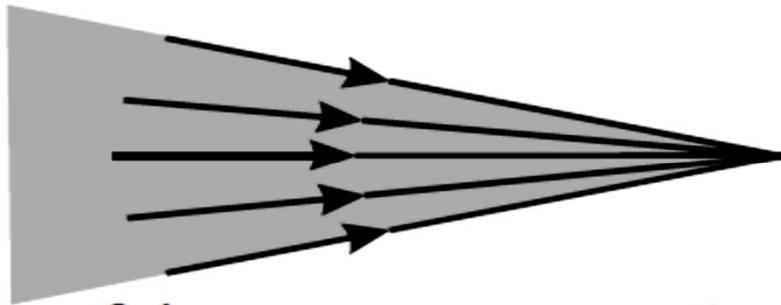
Le RL est une idée abstraite et n'est pas une entité physique réelle. Une bonne représentation d'un RL est la lumière émise par un LASER. Un faisceau lumineux quelconque est constitué d'une infinité de RL.



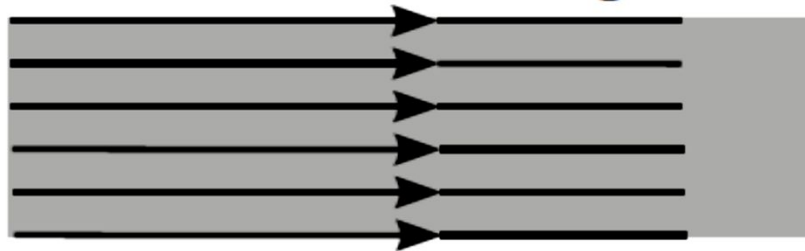
# Définitions (2)



faisceau divergent



faisceau convergent



faisceau parallèle

La notion de rayons lumineux est une idéalisation qui malgré ses limites (tant qu'on n'essaie pas de les dépasser) constitue **un outil puissant pour étudier la propagation de la lumière.**

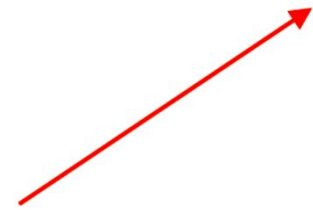
# Propagation en ligne droite

Un milieu est **homogène** s'il a même composition en tous ses points.

Un milieu est **isotrope** si ses propriétés sont les mêmes dans toutes les directions dans le cas contraire il est **anisotrope**.

Le principe de base de l'optique géométrique est le suivant : dans un milieu transparent, homogène et isotrope, les rayons lumineux se propagent en **ligne droite** à la vitesse

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



où  $n$  est l'indice de réfraction du milieu (sans unité)

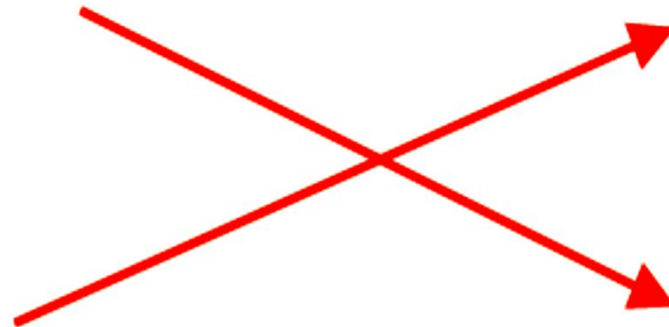
Comme dans les milieux  $v < c$  alors  $n > 1$ . En MPSI, les milieux seront toujours considérés comme **transparents** (ils n'absorbent pas d'énergie)

et  $n$  sera **uniforme** dans tout le milieu. Ex : le verre ; l'air, l'eau.  $n_{eau} = 1,33$ ;  $n_{verre} = 1,5$  dans les appareils photos.  $n_{vide} = 1$

# Les RL peuvent se croiser

Les rayons lumineux peuvent se croiser.

Les rayons lumineux n'interagissent pas entre eux.



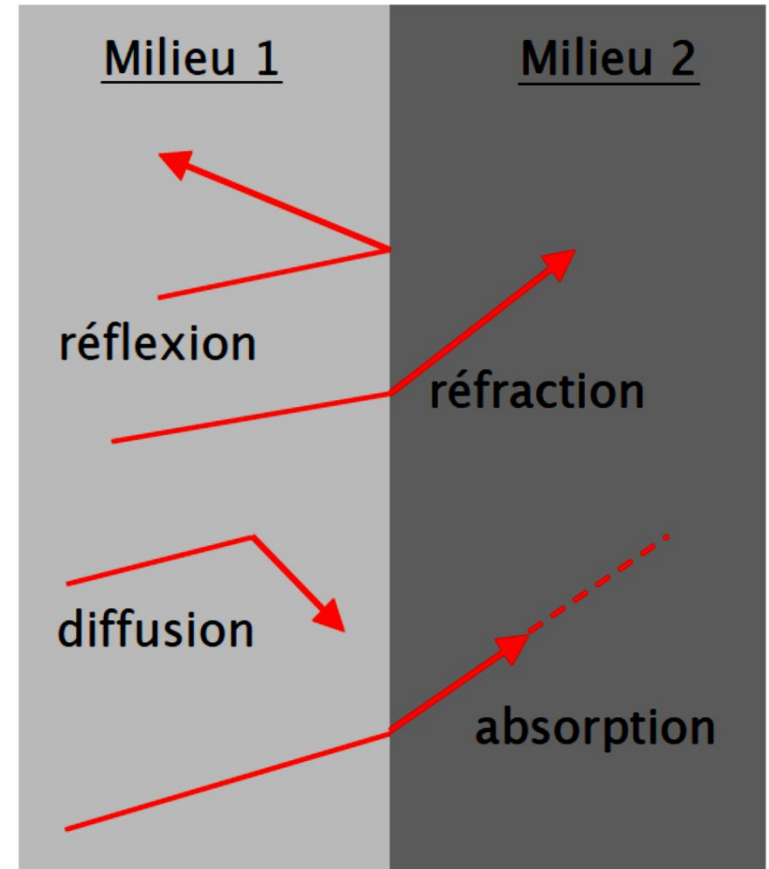
# Interaction avec la matière

Un rayon lumineux se propage jusqu'à ce qu'il interagisse avec la matière

Il y a 4 façons d'interagir avec la matière.

→ A l'interface entre deux milieux, il y a **réflexion** et **réfraction**.

→ A l'intérieur d'un milieu, il peut y avoir **diffusion** et **absorption** (hors programme).





# Sources lumineuses

---

Dans le cadre de l'optique géométrique, une source est simplement considérée comme un dispositif dont sont issus des RL. Une source lumineuse est un système physique émettant de la lumière. Plusieurs processus physiques conduisent à l'émission de la lumière (accélération de charges électriques, etc.) et il existe de nombreux types de sources différentes :

- les sources thermiques par exemple les lampes à incandescence, les bougies, le soleil,
- les sources spectrales par exemple les lampes à vapeur de sodium
- les lasers.

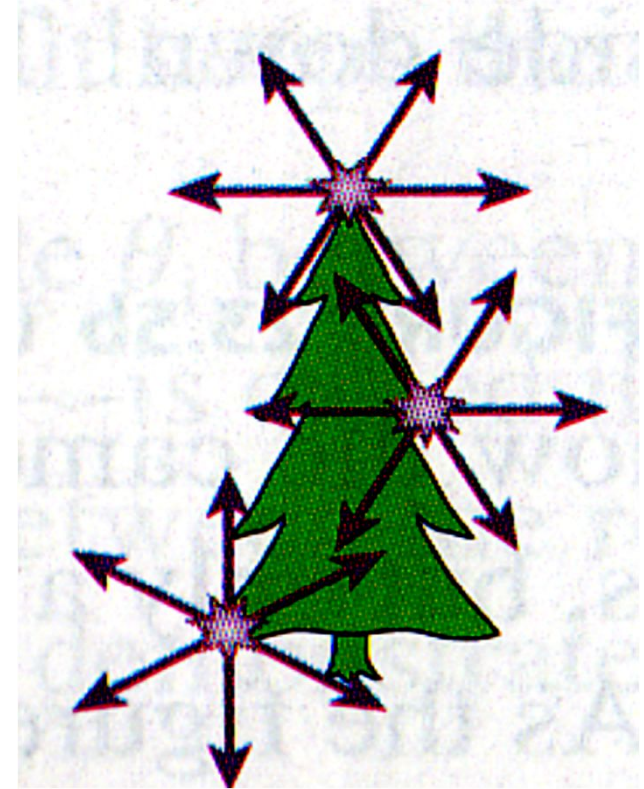
# Un objet est une source de RL (1)

→ Un **objet étendu** peut être considéré comme **une infinité d'objets ponctuels**. Chaque point émet des rayons lumineux dans **toutes les directions**.

→ Il existe des **objets primaires**, lumineux par eux-mêmes (le soleil, les lampes...).

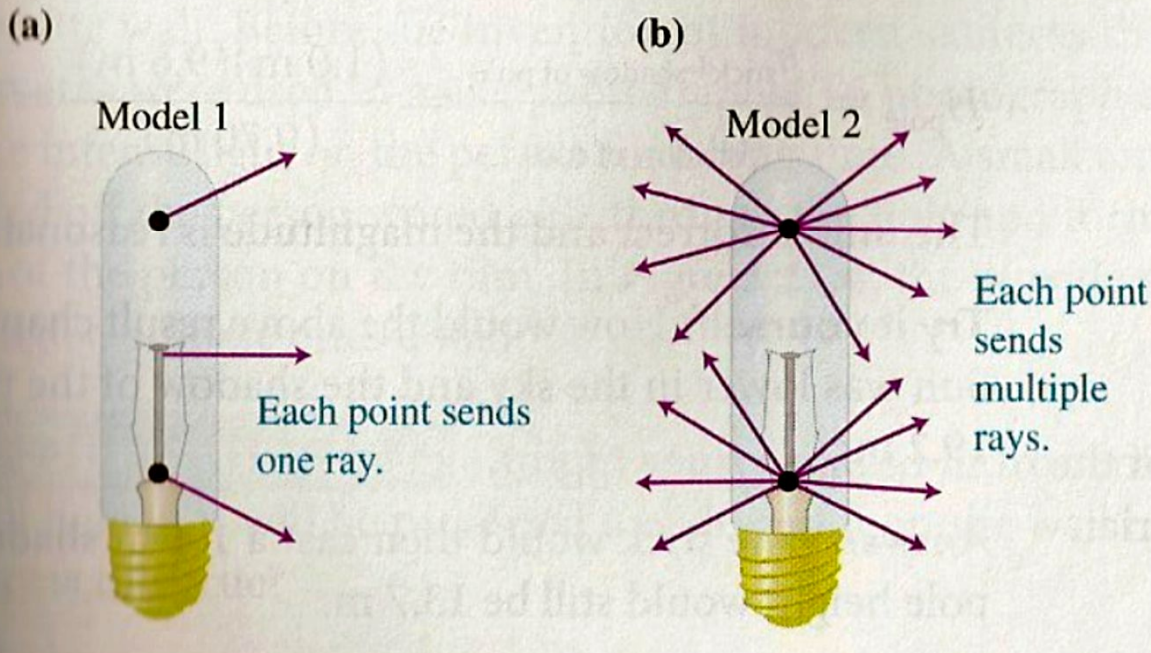
→ Il existe des **objets secondaires**, ils réfléchissent la lumière. La plupart des objets sont secondaires.

Par la suite, on ne fera pas de distinction entre les objets primaires et les objets secondaires.

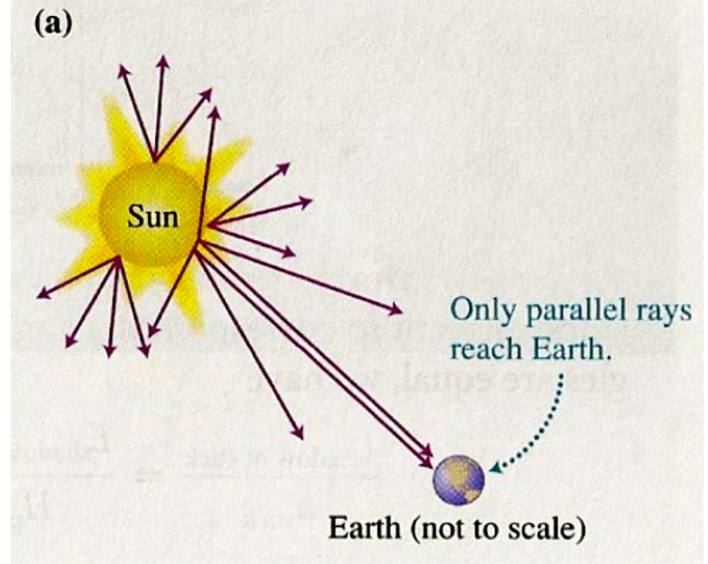


# Un objet est une source de RL (2)

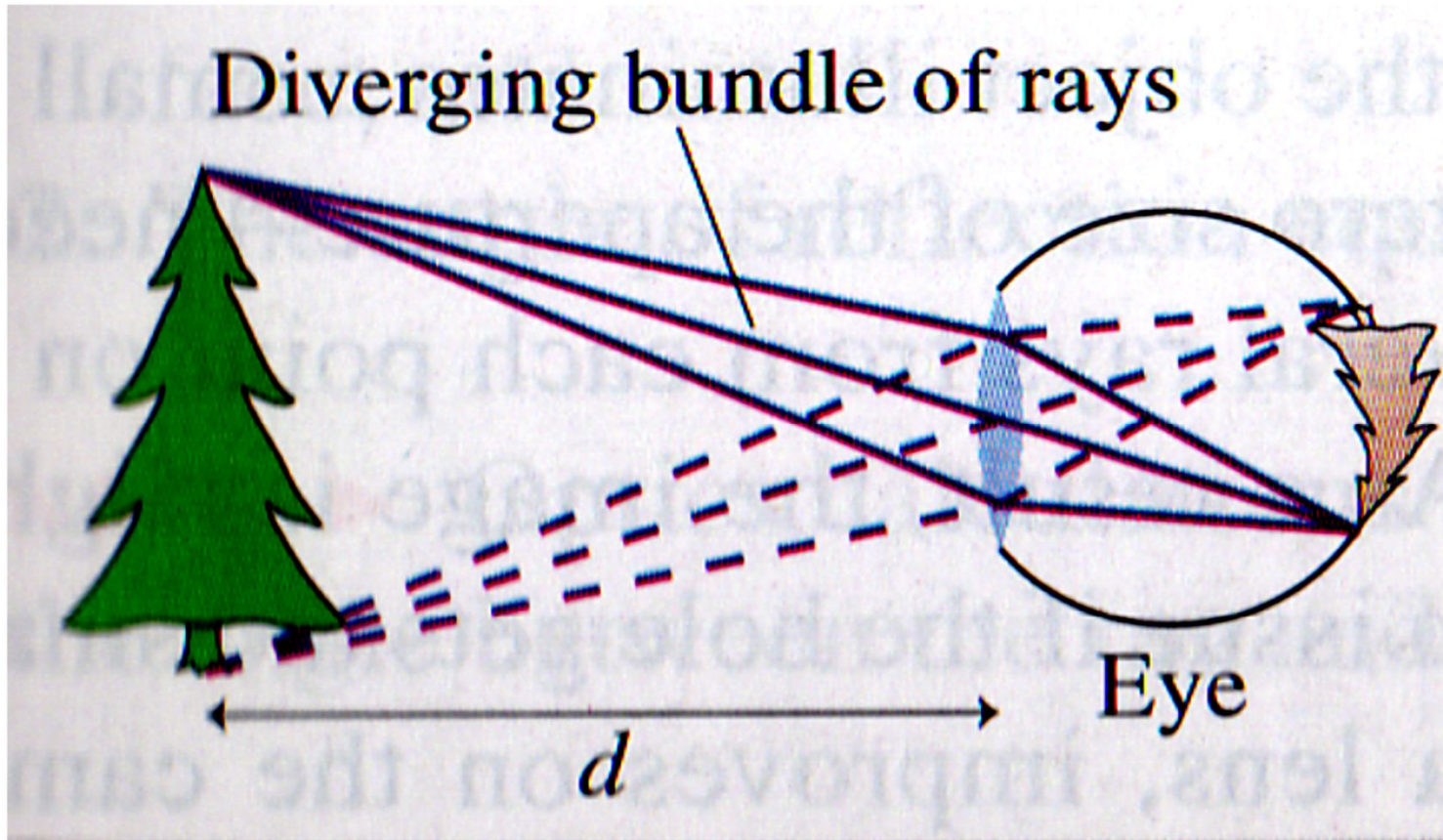
**Figure 21.2** Two models of light emission from a bulb:  
(a) each point of the filament sends one ray; (b) each point of the filament sends multiple rays.



**Figure 21.3** Ray models of sunlight and laser light. (a) Only parallel rays of sunlight reach Earth; (b) parallel rays produce sharp shadows; (c) a laser beam can be modeled with one ray of light.



# L'œil « voit » en focalisant un paquet ou faisceau de RL divergent



# Réversibilité de la propagation de la lumière

L'expérience montre que la propagation de la lumière est réversible. Si un rayon est émis par une source en A et se propage jusqu'au point B, une source en B peut émettre un rayon qui se propage en sens inverse jusqu'au point A quels que soient le chemin AB et les milieux dans lesquels la lumière se propage. **C'est le principe du retour inverse de la lumière.**

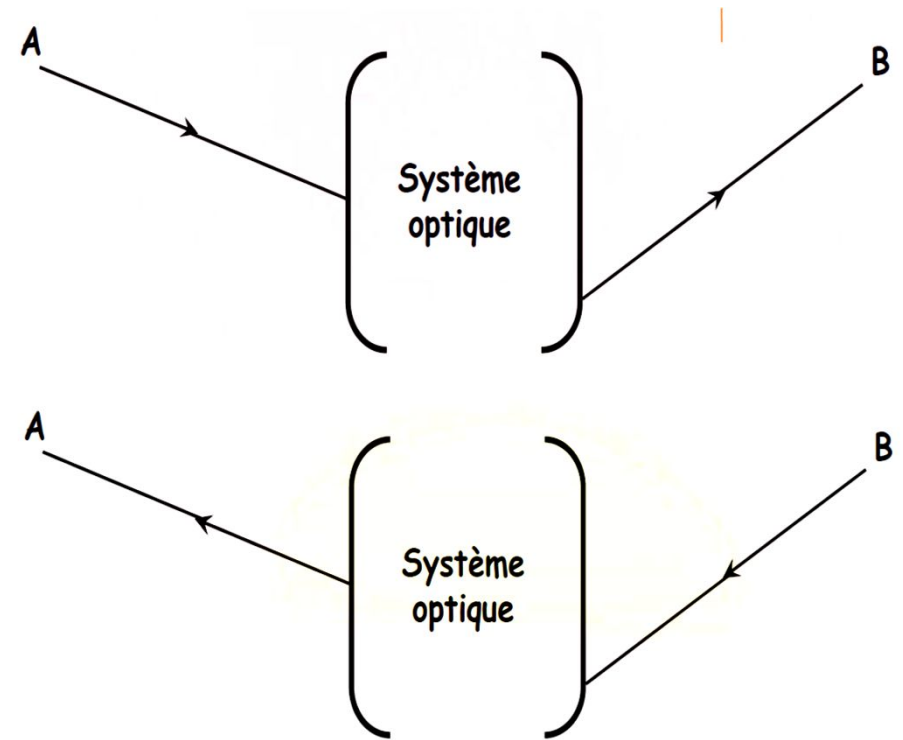


Illustration du principe du retour inverse de la lumière

# Domaine de validité de l'optique géométrique par rapport à l'optique ondulatoire

L'optique géométrique est valable tant que la taille des obstacles  $d$  (lentilles, miroirs, diaphragme...) rencontrés par la lumière est supérieur à sa longueur d'onde  $\lambda$ .

Dans le domaine des longueurs d'ondes visibles, par exemple pour le laser hélium-néon (couleur rouge)  $\lambda = 633 \text{ nm}$ . La taille des obstacles rencontrés en optique géométrique, tels que les lentilles, est largement supérieure à  $\lambda = 633 \text{ nm}$ .  
**L'optique géométrique est un excellent modèle pour la formation des images** (lunettes, télescopes etc...)

---

# Lois de Snell- Descartes



Willebrord Snell van Royen ou Snellius, (Leyde, 1580-1626) est un mathématicien et physicien néerlandais. Bien qu'il ait découvert la loi de la réfraction appelée maintenant loi de Snell ou loi de Snell-Descartes en France, il n'en a pas publié le résultat et son exclusivité n'a pas été reconnue jusqu'à ce que Huygens mentionne la découverte de Snell dans son travail environ soixante-dix ans plus tard.



René Descartes, né à La Haye, en Touraine aujourd'hui, dénommé Descartes le 31 mars 1596 et mort à Stockholm dans le palais royal de Suède le 11 février 1650, est un mathématicien, physicien et philosophe français. Il fut le premier à publier les lois de la réflexion et de la réfraction sous leur forme actuelle.

Les lois empiriques de la réflexion et de la réfraction peuvent être interprétées par différents modèles : modèle ondulatoire de Huygens (principe de Huygens), modèle de moindre action de Fermat (Principe de Fermat), modèle de l'onde électromagnétique de Maxwell. Dans ce cours, **nous admettons ces lois comme des faits expérimentaux.**



---

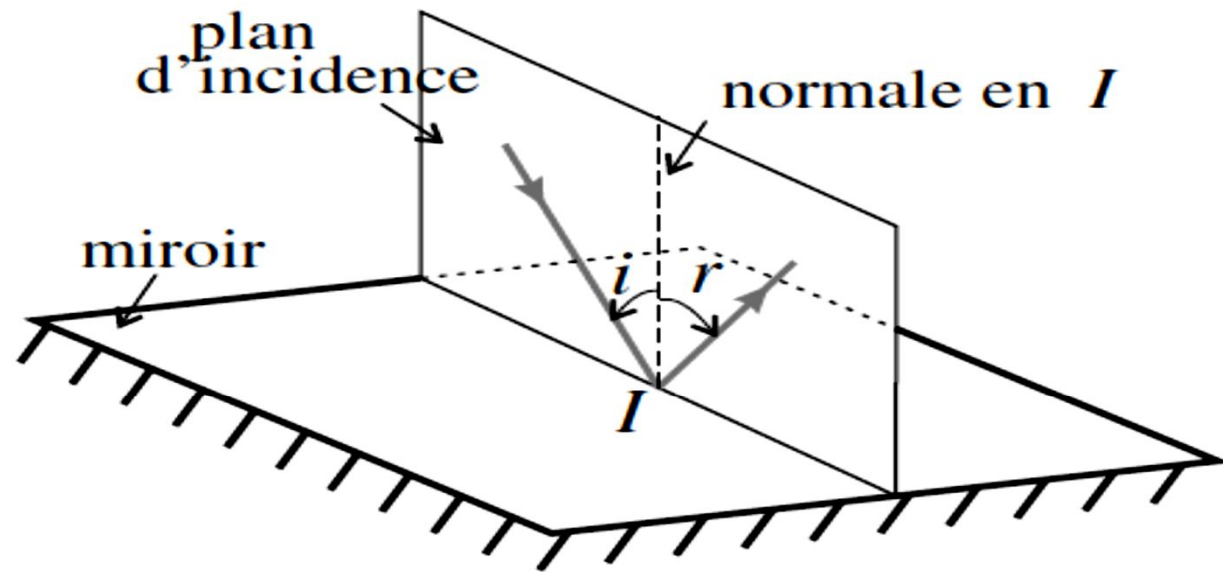
# A- Lois de Snell- Descartes pour la réflexion

# Réflexion d'un RL (1)

- On appelle **normale à une surface**, la direction perpendiculaire à cette surface non plane, la direction de la normale dépend du point considéré
- On appelle **rayon incident** le rayon lumineux auquel on s'intéresse et qui donnera lieu à un rayon réfléchi
- On appelle **plan d'incidence** le plan contenant à la fois le rayon incident et la normale à la surface (au point atteint par le rayon incident). Si le rayon incident est dirigé selon la normale, il y a une infinité de plus incidents.
- On appelle **angle d'incidence**, l'angle entre le rayon et la normale.

# Réflexion d'un RL (2)

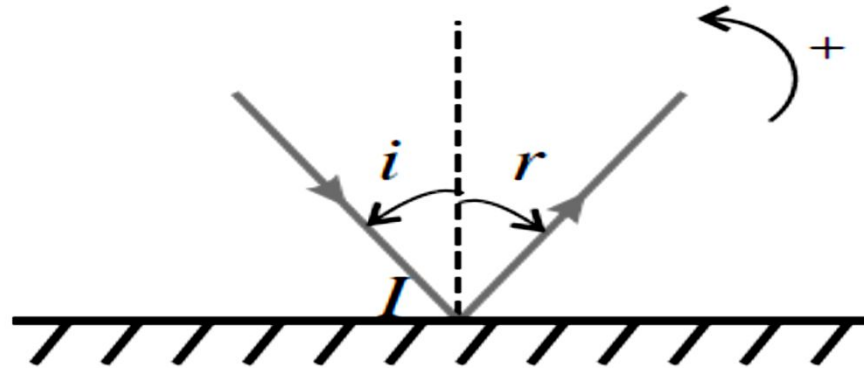
La réflexion consiste en un changement de direction d'un rayon lumineux « rebondissant » sur une surface réfléchissante.



**Figure 5.1** – Réflexion sur un miroir.

# Lois de la réflexion (1)

Les angles entre la normale et les rayons incident et réfléchi sont notés  $i$  et  $r$  et appelés respectivement angle d'incidence et angle de réflexion. Ces angles doivent être algébrisés. **Il est très important de les prendre toujours de la normale vers les rayons.** Leurs signes dépendent du sens positif choisi et sont opposés.



**Figure 5.2** – Représentation de la réflexion dans le plan d'incidence.

# Lois de la réflexion (2)

Les lois de Snell-Descartes pour la réflexion s'énoncent ainsi :

1. le rayon réfléchi est compris dans le plan d'incidence (plan défini par la normale et le rayon incident),
2. les angles d'incidence  $i$  et de réflexion  $r$  sont liés par la relation

$$r = -i$$

Les angles considérés ici sont des angles orientés. Si ce n'était pas le cas, la relation ci-dessous s'écrirait :

$$r = i$$

---

# B- Lois de Snell- Descartes pour la réfraction

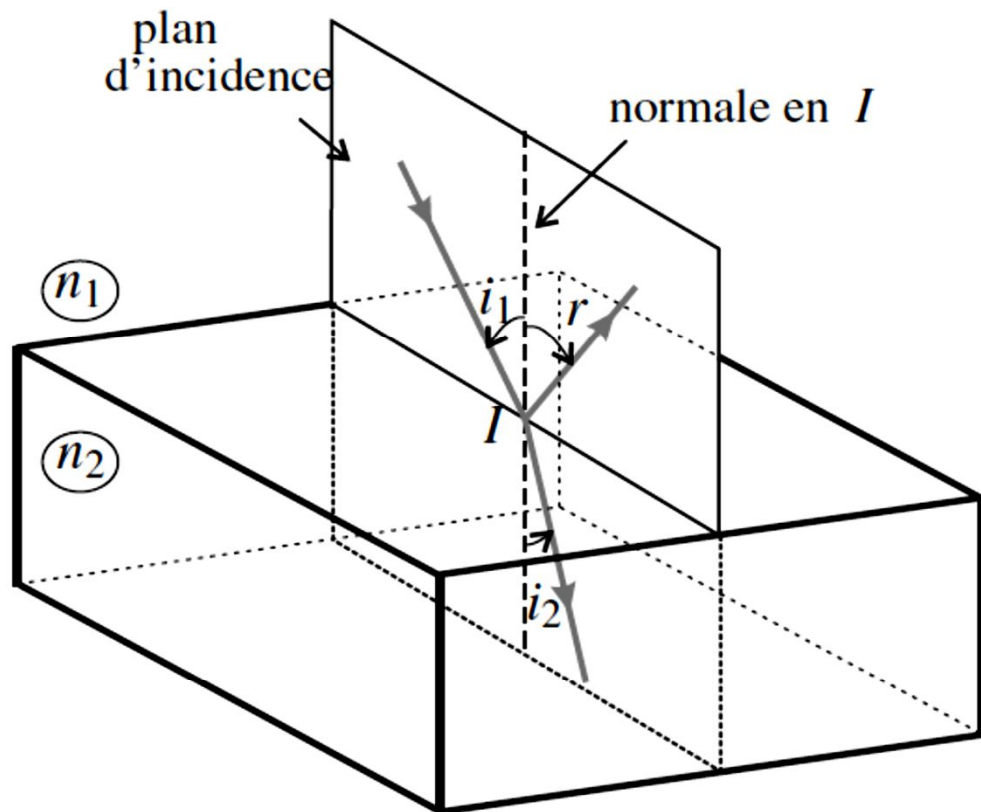
# Réflexion et réfraction sur un dioptre (1)

La surface de séparation entre les 2 milieux transparents est appelée en optique **dioptre**. Un rayon lumineux arrivant sur un dioptre appelé rayon incident donne en général naissance à deux rayons :

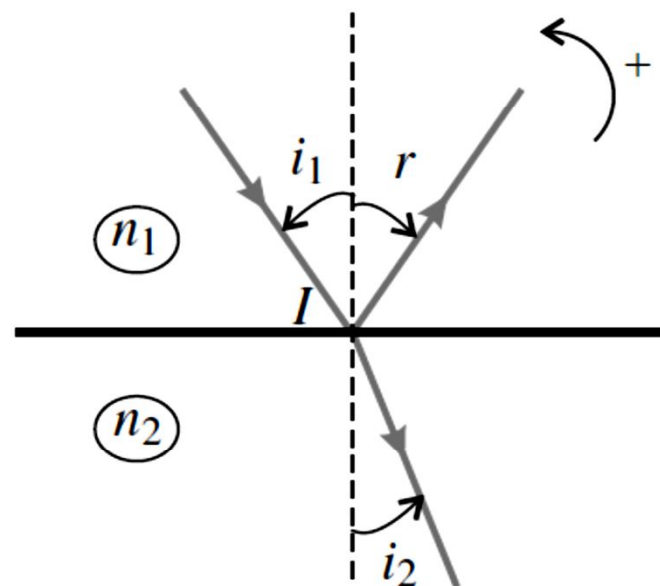
- un rayon réfléchi qui repart dans le milieu du rayon incident
- un rayon transmis qui entre dans l'autre milieu transparent

Le rayon incident suit les lois de Snell-Descartes pour la réflexion. Le rayon transmis n'est pas dans la prolongation du rayon incident : c'est le phénomène de **réfraction**. Le rayon transmis est aussi appelé **rayon réfracté**.

# Réflexion et réfraction sur un dioptre (2)



**Figure 5.3** – Réflexion et réfraction sur un dioptre.



**Figure 5.4** – Représentation dans le plan d'incidence.



# Lois de la réfraction

---

On note  $n_1$  l'indice optique du milieu de propagation du rayon incident et  $n_2$  l'indice optique du milieu de propagation du rayon réfracté. Les angles que font ces deux rayons avec la normale au dioptre sont notés  $i_1$  et  $i_2$  et appelés respectivement angle d'incidence et angle de réfraction. Ces angles sont algébriques et doivent toujours aller de la normale vers les rayons. Leurs signes dépendent du sens positif choisi et sont identiques.

**Les lois de Snell-Descartes pour la réfraction s'énoncent ainsi :**

- 1. le rayon réfracté est dans le plan d'incidence**
- 2. l'angle d'incidence  $i_1$  et l'angle de réfraction  $i_2$  sont liés par la relation :**

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

# Déviaton due à la réfraction

Le sens de cette déviation du rayon transmis dépend de l'ordre des indices de deux milieux :

- si le deuxième milieu est plus réfringent que le premier c'est-à-dire si  $n_2 > n_1$  le rayon réfracté se rapproche de la normale.
- si le deuxième milieu est moins réfringent que le premier soit si  $n_2 < n_1$  le rayon réfracté s'écarte de la normale.

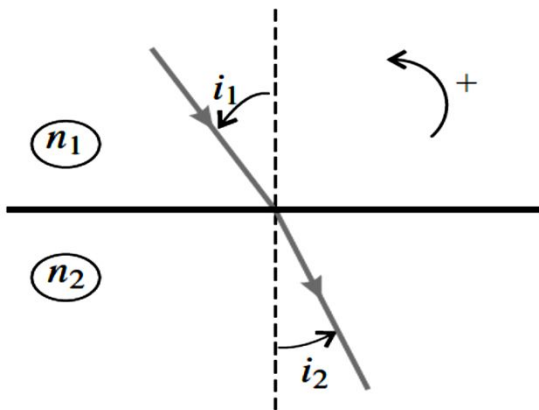


Figure 5.5 – Réfraction avec un milieu (2) plus réfringent.

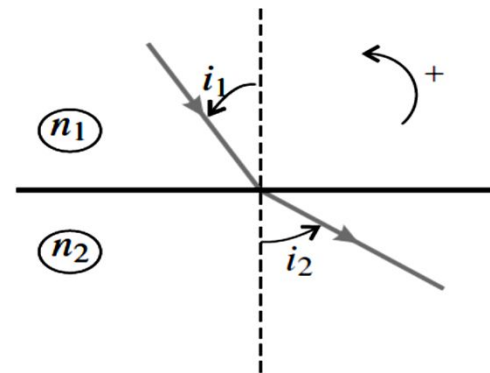


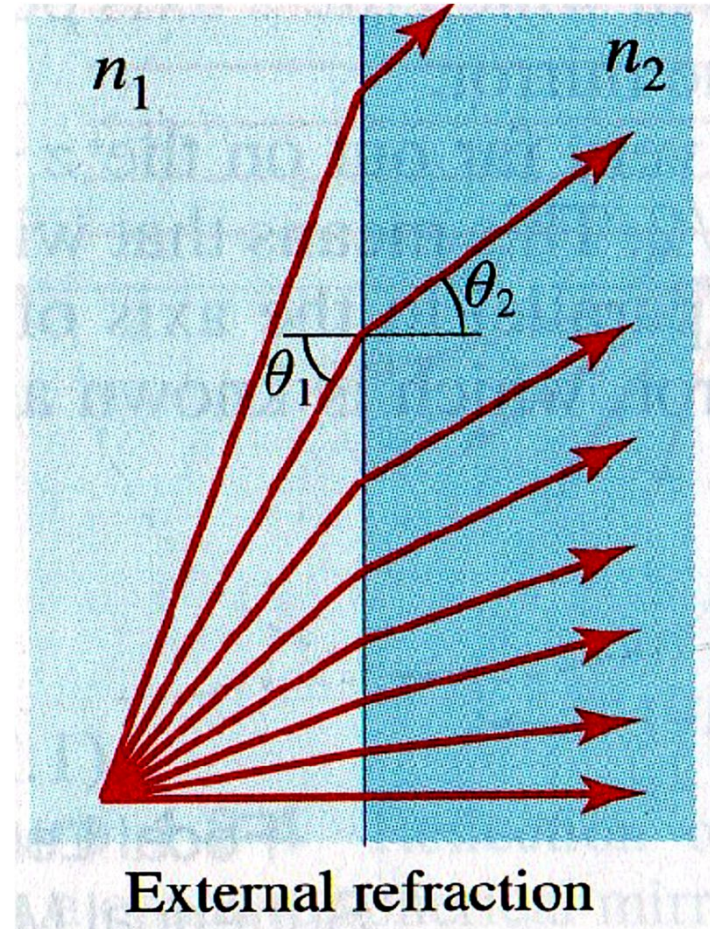
Figure 5.6 – Réfraction avec un milieu (2) moins réfringent.

il faut veiller à respecter cette règle lorsqu'on dessine un rayon réfracté.

# Réflexion totale interne (1)

## a) Réfraction externe

Le rayon lumineux passe d'un milieu d'indice  $n_1$  à un milieu d'indice  $n_2$  tel que  $n_2 > n_1$  (typiquement air  $\rightarrow$  verre). On a toujours, d'après la loi de la réfraction,  $\theta_2 < \theta_1$ . Quand  $\theta_1$  augmente de 0 à  $\pi/2$ ,  $\theta_2$  augmente de 0 à  $\theta_{2max} = \arcsin(n_1/n_2)$

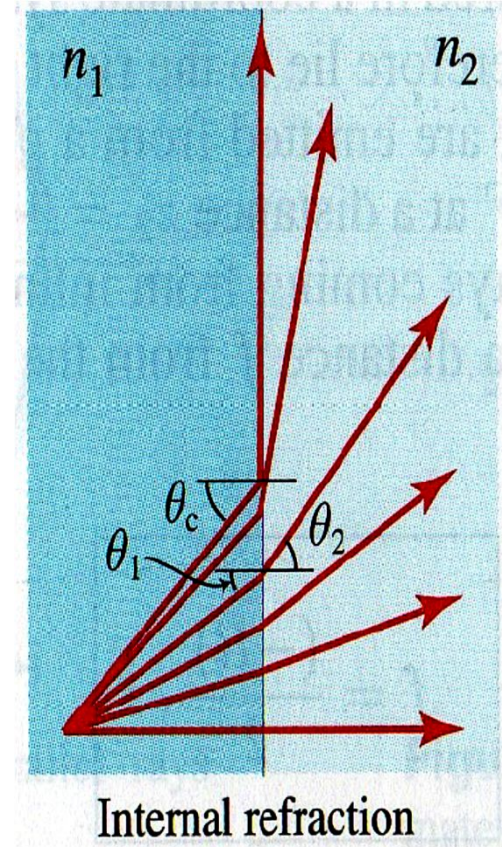


# Réflexion totale interne (2)

## b) Réfraction interne

Le rayon lumineux passe maintenant d'un milieu d'indice  $n_1$  à un milieu d'indice  $n_2$  tel que  $n_2 < n_1$  (typiquement verre  $\rightarrow$  air). On a toujours, d'après la loi de la réfraction,  $\theta_2 > \theta_1$ . l'angle de réfraction est à présent supérieur à l'angle d'incidence. Quand  $\theta_1$  augmente à partir de 0 c'est  $\theta_2$  qui va atteindre la valeur de  $\pi/2$  en premier. Cela se produit quand  $\theta_1 = \theta_c$ . D'après la loi de la réfraction,  $n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin(\pi/2)$  soit:

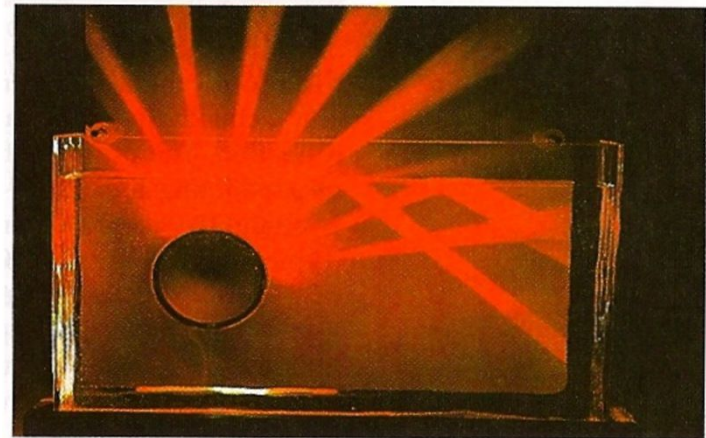
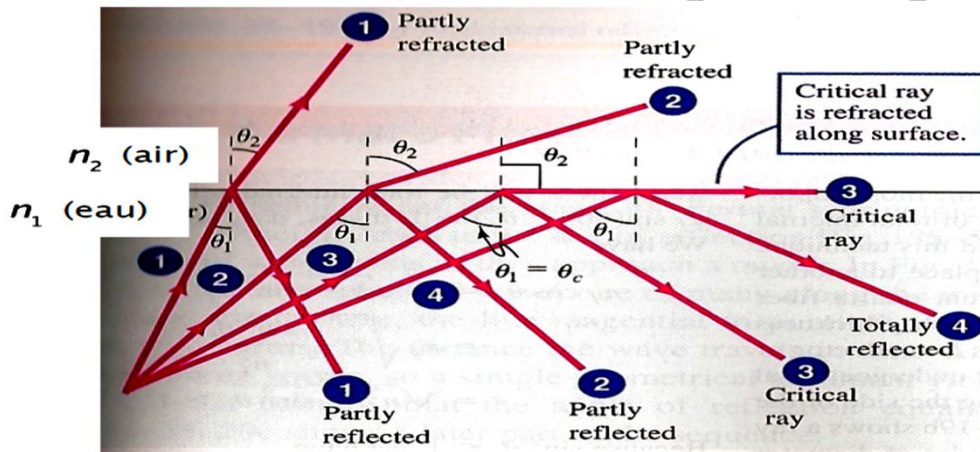
$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$



# Réflexion totale interne (3)

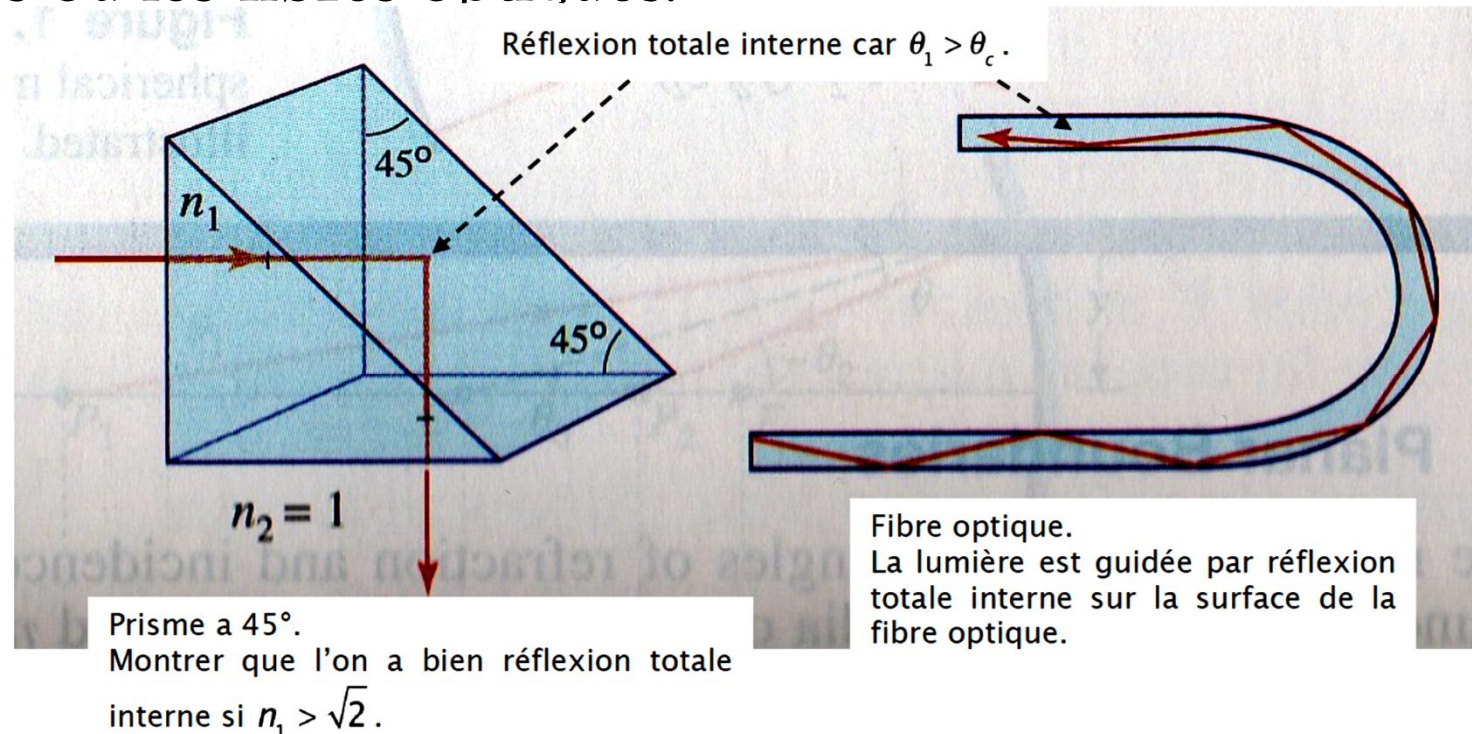
Quand  $\theta_1 > \theta_c$ , la loi de la réfraction ne peut pas être satisfaite (on doit toujours avoir  $-1 \leq \sin \theta \leq 1$ ). Le rayon incident est totalement réfléchi, il n'existe plus de rayon réfracté, on parle de **réflexion totale interne**. Par exemple, si  $n_2 = 1$  (de l'air) et  $n_1 = 1,5$  (du verre) alors  $\theta_c = 42^\circ$ .

La figure ci-dessous donne une autre illustration du phénomène de la réflexion totale interne pour le passage eau-air.



# Réflexion totale interne (4)

Ce phénomène est à la base de nombreux systèmes optiques (figure ci-dessous) qui ont pour but de guider la lumière d'un point à un autre, sans perte d'énergie à cause des rayons réfractés, comme les prismes ou les fibres optiques.



# Loi de Kepler

---

**Si les angles sont faibles**, on peut confondre le sinus et la valeur de l'angle en radians. La loi de Snell-Descartes pour la réfraction prend alors la forme approchée dite loi de Kepler

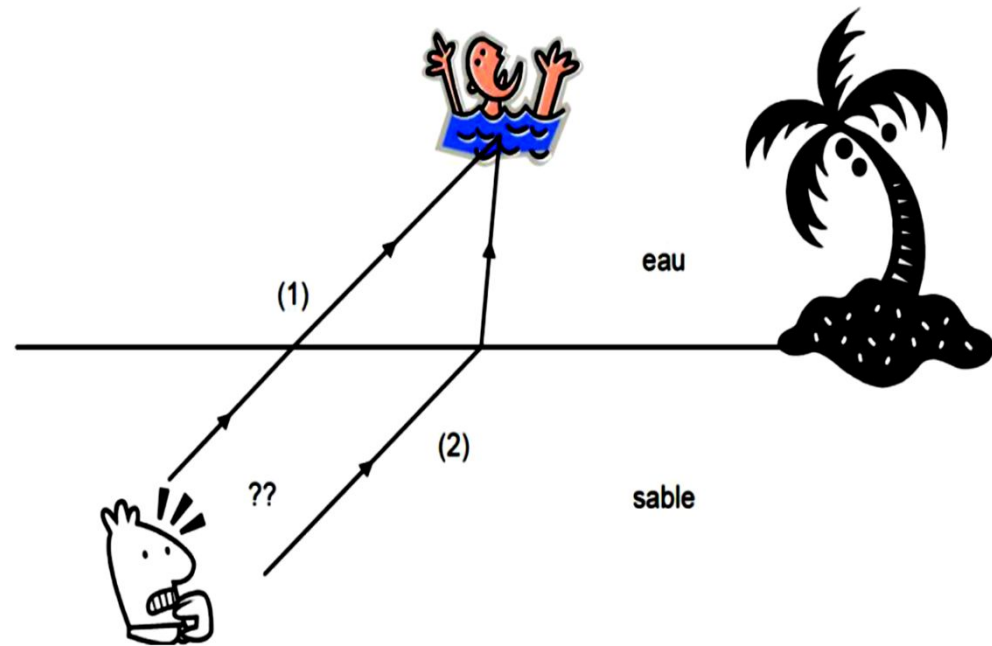
$$n_1 i_1 = n_2 i_2$$

# Principe de Fermat

La lumière choisit toujours, pour aller d'un point à un autre, le chemin ayant le temps de parcours minimal. La figure ci-dessous illustre ce principe par une analogie. La lumière comme le sauveteur choisira le trajet le plus court : le trajet en ligne droite (1) est plus long que le trajet (2) car on se déplace moins vite dans l'eau que sur le sable... Ce raisonnement s'applique à la lumière si on remplace le sable par l'air (indice  $\sim 1$ ).

On montre que ce principe permet d'établir la loi de la réfraction de Snell-Descartes et ainsi que la formule reliant l'indice  $n$  d'un milieu aux vitesses de la lumière dans ce milieu et dans le vide telle que :

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





# Chemin optique (1)

Considérons un milieu transparent, isotrope mais pas nécessairement homogène, l'indice  $n$  du milieu pouvant varier d'un point à un autre pour une radiation monochromatique donnée. Soit  $(C)$  une courbe continue quelconque joignant deux points  $A$  et  $B$ , et  $ds$  un élément de longueur de cette courbe. On appelle " **chemin optique  $[AB]$**  ", entre les points  $A$  et  $B$  le long de la courbe  $(C)$ , l'intégrale curviligne:

$$L = [AB] = \int_C n ds$$

## Remarques:

- $n = c/v$  et  $ds = v dt$  on a

$$L = [AB] = \int_C \frac{c}{v} v dt = \int_C c dt = c(t_B - t_A) \Rightarrow \boxed{L = c\Delta t}$$

# Chemin optique (2)

- En introduisant la pulsation  $\omega$  et le vecteur d'onde  $k$  de la radiation considérée, l'indice de réfraction s'écrit :

$$n = \frac{c}{v} = \frac{c \omega}{\omega v} = \frac{c}{\omega} \|\vec{k}\|$$

Comme le vecteur d'onde  $\vec{k}$  est colinéaire au vecteur déplacement élémentaire  $\vec{ds}$ , l'intégrale précédente peut s'écrire :

$$L = [AB] = \int_C n ds = \int_C \frac{c}{\omega} \vec{k} \cdot \vec{ds} = \frac{c}{\omega} \int_C \vec{k} \cdot \vec{ds}$$

**Le chemin optique apparaît donc comme une grandeur algébrique**, positive si le parcours de A vers B s'effectue dans le sens de la lumière, négative dans le cas contraire.

# Chemin optique (3)

- Si le milieu est homogène, son indice de réfraction est constant d'un point à un autre et la lumière se propage en ligne droite; le chemin optique s'écrit:

$$L = [AB] = \int_A^B n ds = n \int_A^B ds = n \overline{AB} = n\ell$$

où  $\ell$  est la mesure algébrique du segment AB.

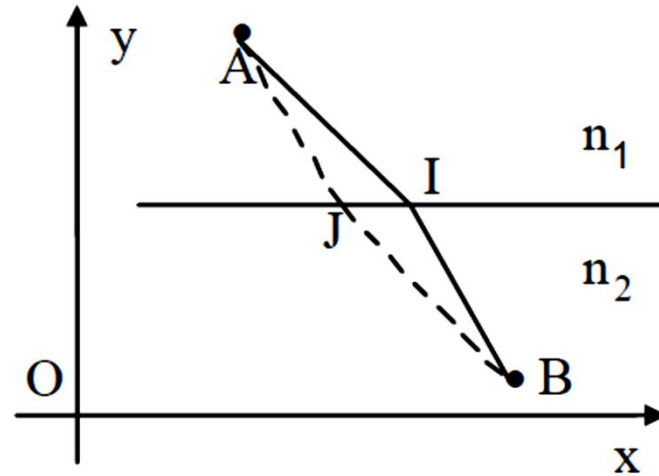
Exemple : si la lumière parcourt une distance de 30 cm dans l'eau d'indice  $n = 3/4$ , le chemin optique correspondant est  $L = \frac{3}{4} \cdot 30 = 40 \text{ cm}$ . La lumière parcourrait donc dans le vide pendant le même temps une longueur de 40 cm.

# Chemin optique (4)

Voyons comment le principe de Fermat s'écrit lorsque la lumière se propage dans plusieurs milieux d'indices différents. Pour cela, considérons un trajet AIB comportant deux tronçons AI et IB contenus dans des milieux homogènes d'indices différents  $n_1$  et  $n_2$  séparés par une surface plane. Le chemin optique  $[AB]$  a pour expression :

$$L = [AB] = n_1 AI + n_2 IB$$

D'après le principe de Fermat, si ce trajet est effectivement suivi par la lumière, il sera soit minimum soit maximum.



# Chemin optique (5)

Soit un système d'axes orthonormé  $(\vec{Ox}, \vec{Oy})$  lié à la surface plane. Dans ce système, le point I a pour coordonnées  $(x, y)$  et un point J du dioptre infiniment voisin de I aura pour coordonnées  $(x + dx, y + dy)$ . Supposons que la lumière suit le trajet AJB. La variation du chemin optique  $L = [AB]$  entre ces deux trajets voisins s'écrit :

$$dL = \left( \frac{\partial L}{\partial x} \right) dx + \left( \frac{\partial L}{\partial y} \right) dy$$

Dire que le chemin optique est extrémal, c'est écrire que

$$dL = 0 \implies \frac{\partial L}{\partial x} = 0 \quad \text{et} \quad \frac{\partial L}{\partial y} = 0$$

---

# Dispersion

# Définition (1)

Dans un milieu transparent et homogène (eau, air, verre...), l'indice de réfraction  $n$  dépend de la longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0$  :

→ Dans le vide:  $\lambda_0 = cT$

→ Dans un milieu transparent homogène:  $\lambda = v T = cT/n$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

Dans de nombreux milieux transparents homogènes, on a la relation suivante pour le visible :

$$n = A + B\omega^2 = A' + \frac{B'}{\lambda_0^2} \quad \omega = 2\pi c/\lambda$$

avec  $A$  et  $B$  des constantes qui dépendent du type de matériaux.

# Définition (2)

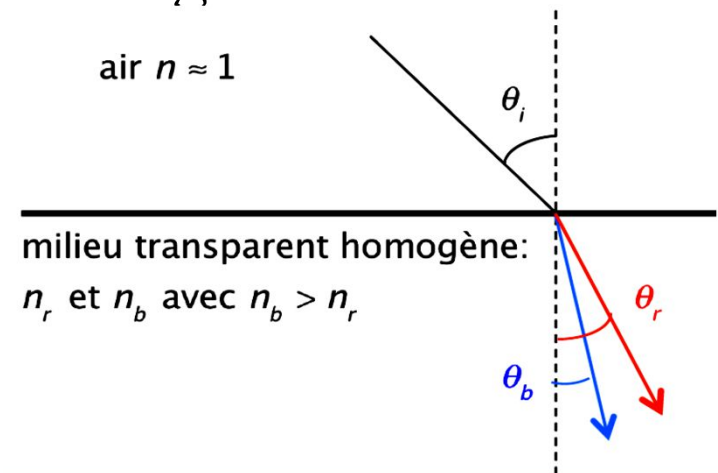
Comme

$$\lambda_0 \text{ violet} < \lambda_0 \text{ rouge} \rightarrow n_{\text{violet}} > n_{\text{rouge}} \rightarrow v_{\text{violet}} < v_{\text{rouge}}.$$

Cela permet d'expliquer la dispersion de la lumière à travers un prisme, c'est-à-dire la séparation des différentes longueurs d'onde (couleurs) de la lumière blanche.

A l'interface entre l'air et un milieu transparent homogène, il faut appliquer la loi de la réfraction pour chaque longueur d'onde :

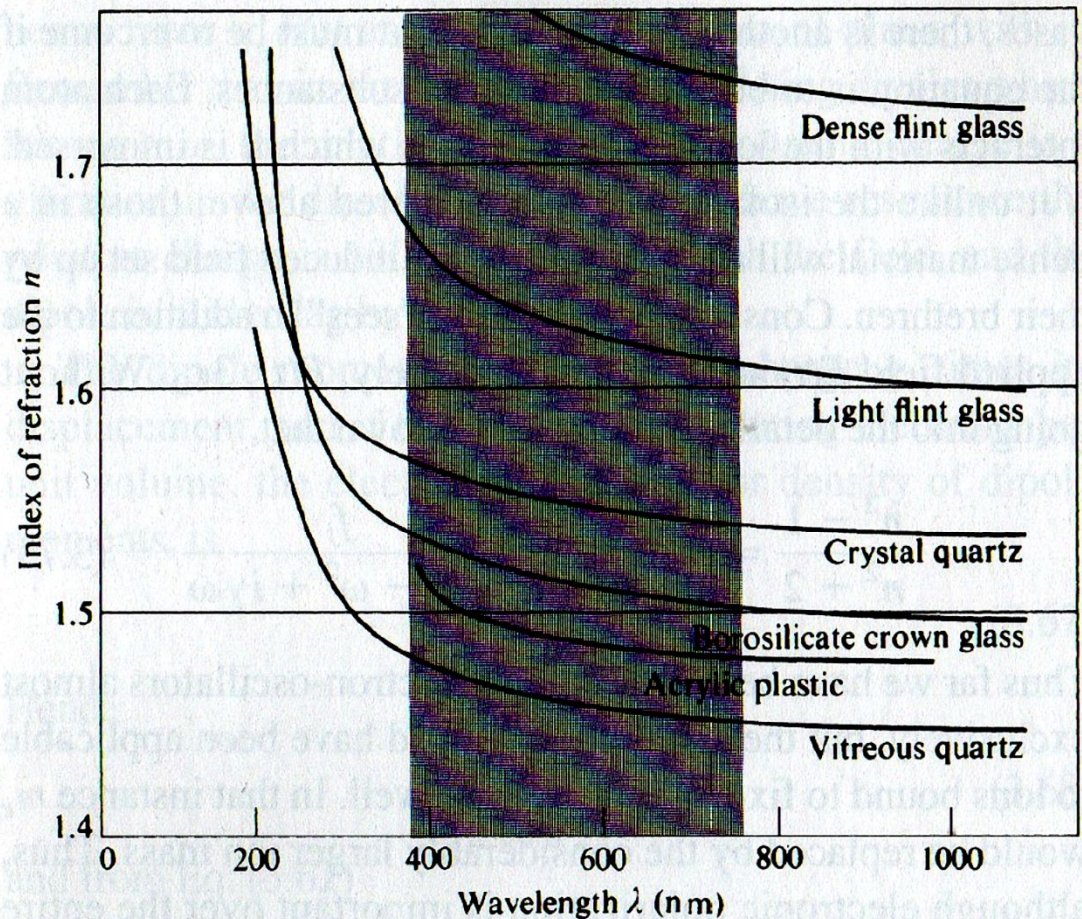
$$\left. \begin{aligned} \sin \theta_r &= \frac{\sin \theta_i}{n_r} \\ \sin \theta_b &= \frac{\sin \theta_i}{n_b} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \theta_r > \theta_b$$





# Définition (3)

Ainsi le bleu et le rouge pénètrent dans le milieu avec des angles différents, il y a séparation des longueurs d'onde (des couleurs), c'est la dispersion. La figure ci-dessous donne l'évolution de l'indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde pour différents matériaux transparents et homogènes.

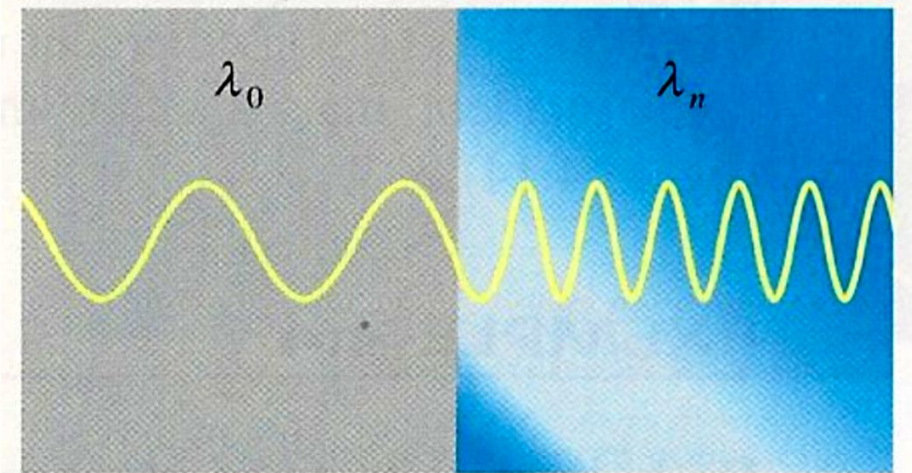


**Figure 3.40** The wavelength dependence of the index of refraction for various materials.

# Définition (4)

Un matériau sera plus ou moins dispersif si  $n$  varie plus ou moins avec la longueur d'onde.

C'est ce phénomène de dispersion qui explique la formation des arcs-en-ciel. La lumière du soleil est dispersée grâce aux gouttes d'eau liquide en suspension dans l'atmosphère (après une pluie).



**Figure 4.13 ▲**

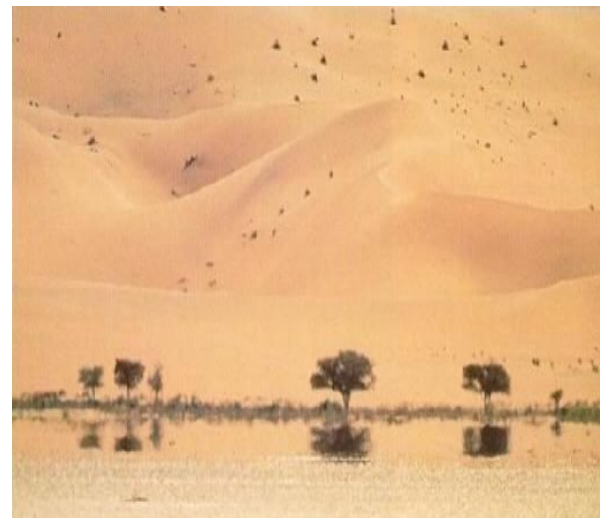
La longueur d'onde de la lumière dans un milieu d'indice  $n$  est inférieure à sa longueur d'onde dans le vide :  $\lambda_n = \lambda_0/n$ . La fréquence de la lumière ne change pas au passage d'un milieu à un autre, car elle est déterminée par la source.

---

# Quelques mots sur les mirages

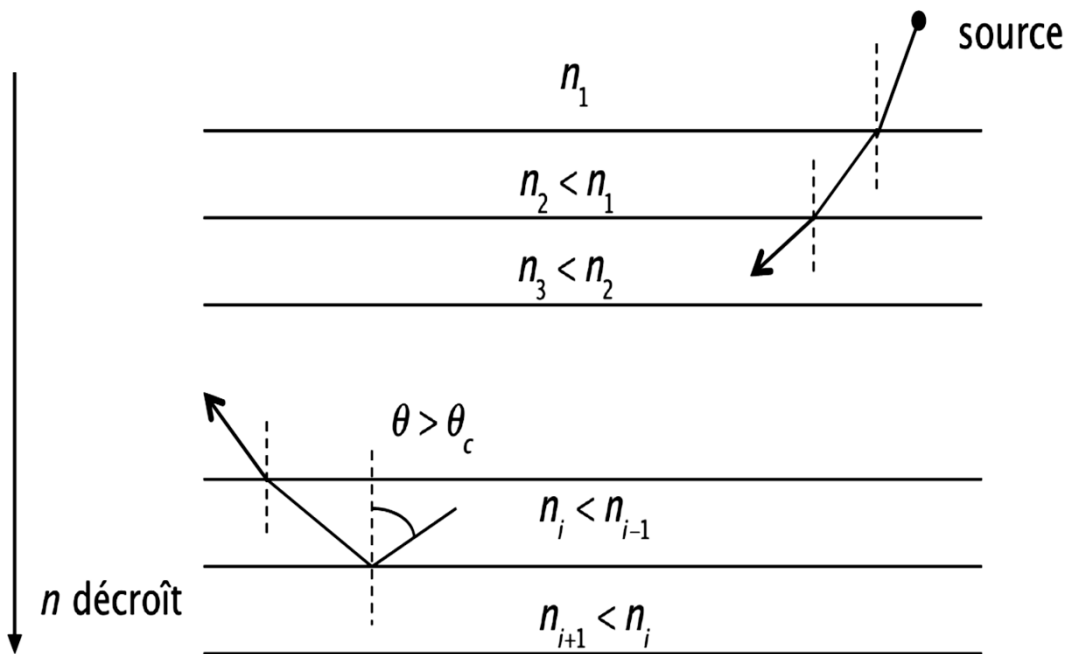
# Définition

Un mirage est un phénomène qui donne l'illusion que des objets éloignés se reflètent dans des flaques d'eau ; elles nous donnent l'impression qu'elles sont à des endroits mais en réalité, elles se trouvent ailleurs.



# Explication (1)

Que se passe-t-il quand l'indice de réfraction  $n$  d'un milieu varie de façon continue dans l'espace ? On peut en première approximation modéliser ce milieu par un empilement de milieux d'indice de réfraction constant.

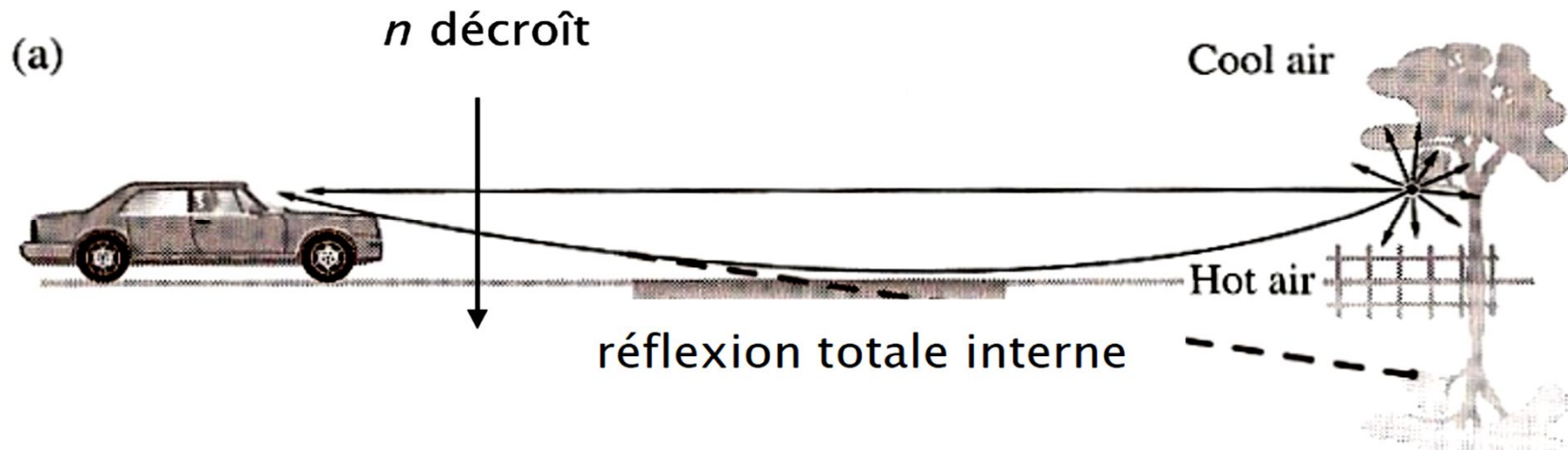


Si dans un milieu  $n$  augmente progressivement de bas en haut, un rayon lumineux aura une trajectoire courbe.

Ceci explique le phénomène des mirages.

# Explication (2)

Considérons la figure ci dessous :



Un observateur qui regarde la route voit un arbre « sous la route ». En effet, **le cerveau est trompé**, il croit toujours que la lumière se propage en ligne droite. **Souvent, il nous semble voir sur la route une flaque d'eau quand il fait chaud.** En réalité, cette flaque d'eau correspond au ciel, les rayons étant courbés: **c'est la lumière du ciel qui arrive dans nos yeux.**

# Explication (3)

---

**Ce sont des phénomènes liés à la lumière et à la température de l'air.** La trajectoire de la lumière prend une trajectoire courbée contrairement au principe des rayons lumineux qui se déplacent en ligne droite dans un milieu homogène et transparent. On comprend donc **que la trajectoire est courbée à cause d'un défaut du milieu.** Effectivement le phénomène de mirage ne se voit que dans un milieu où la température entre le sol et la température à environ un mètre du sol sont au moins différentes de  $10^{\circ}\text{C}$ . Dans les pays chauds la différence thermique permet le phénomène du mirage. L'air proche du sol atteint des températures supérieures à l'air en hauteur. Cette amplitude thermique est due à une multitude de couches d'air de températures différentes. **Ainsi quand un rayon lumineux traverse deux milieux ayant des propriétés physiques différentes, les rayons changent de comportement et de trajectoire. Cela explique la trajectoire courbée des mirages.**

---

# Objets et images

---



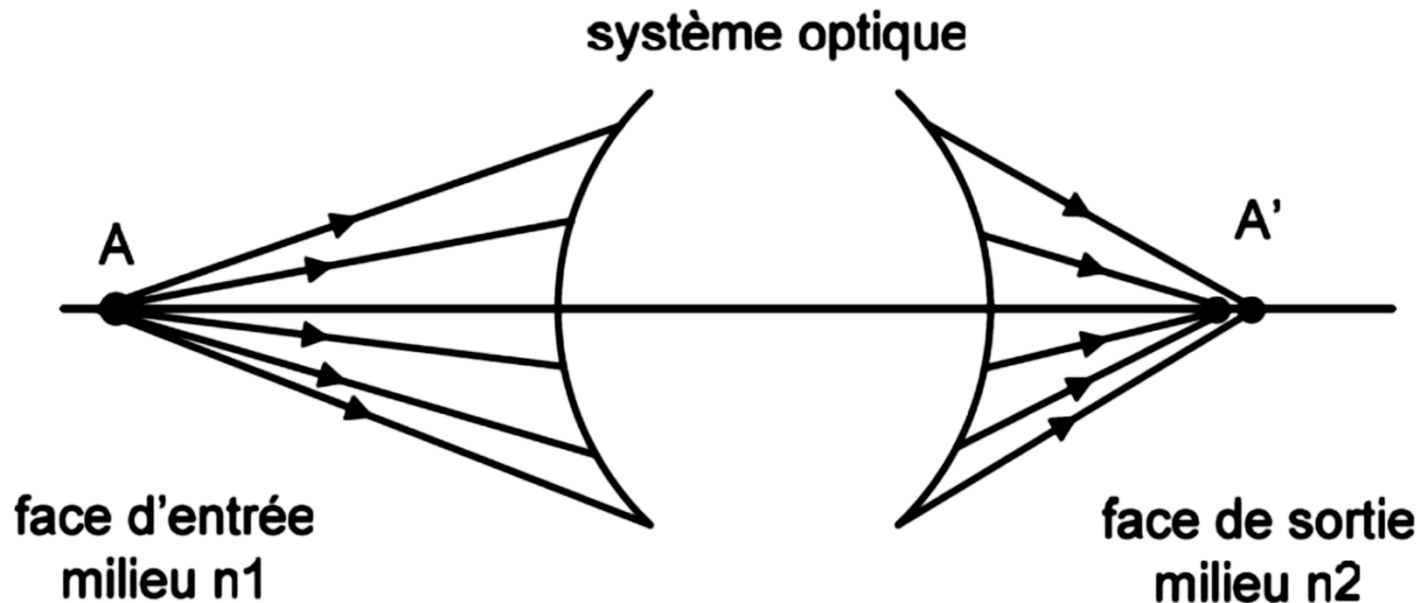
# Objet et image

---

Soit un point  $A$  : si tous les rayons lumineux issus de  $A$  et passant au travers du système optique arrivent en un point  $B$  alors  **$B$  est appelé image de l'objet  $A$** . Du fait du principe de retour inverse de la lumière,  $A$  et  $B$  peuvent changer de rôle (l'objet devient l'image et réciproquement) : **on dit que  $A$  et  $B$  sont conjugués**.

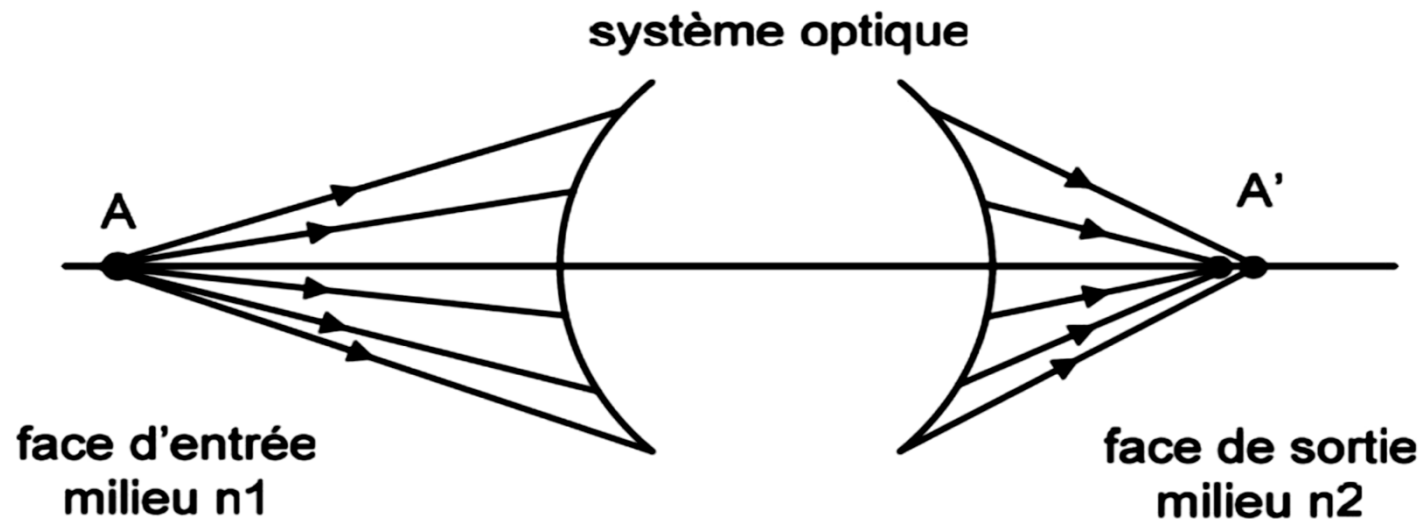
# Stigmatisme (1)

- Lorsque tous les rayons issus de  $A$  passent au voisinage de  $A'$  après traversée du système optique, on dit que l'on réalise le "stigmatisme approché" pour le couple  $AA'$ . L'image d'un point  $A$  est une petite tâche et non un point.



# Stigmatisme (2)

- Lorsque tous les rayons issus de  $A$  passent en  $A'$  après traversée du système optique, on dit que l'on réalise **le "stigmatisme rigoureux" pour le couple  $AA'$** . Cette propriété est très difficile à obtenir dans la réalité, même pour des systèmes simples.



# Aplanétisme (1)

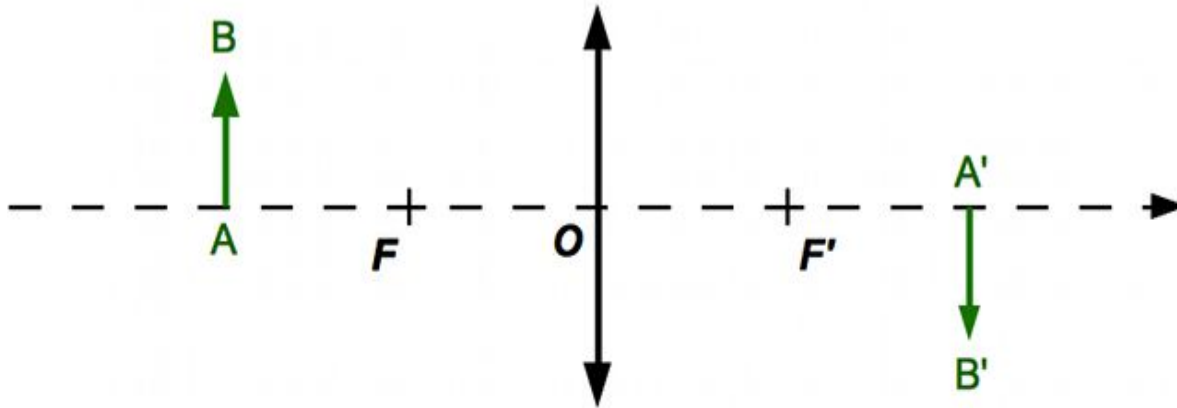
---

Soit un système optique possédant un axe de symétrie ou axe optique ; le système est dit centré si cette symétrie est de révolution. **On dit que le système est aplanétique rigoureusement si tout objet plan orthogonal à l'axe optique possède une image plane et normale également à cet axe.** En général, les systèmes optiques possèdent cette propriété. Exemple : un appareil photo est aplanétique. En effet, en photographiant une personne les pieds et la tête sont bien nets dans le plan de la pellicule.

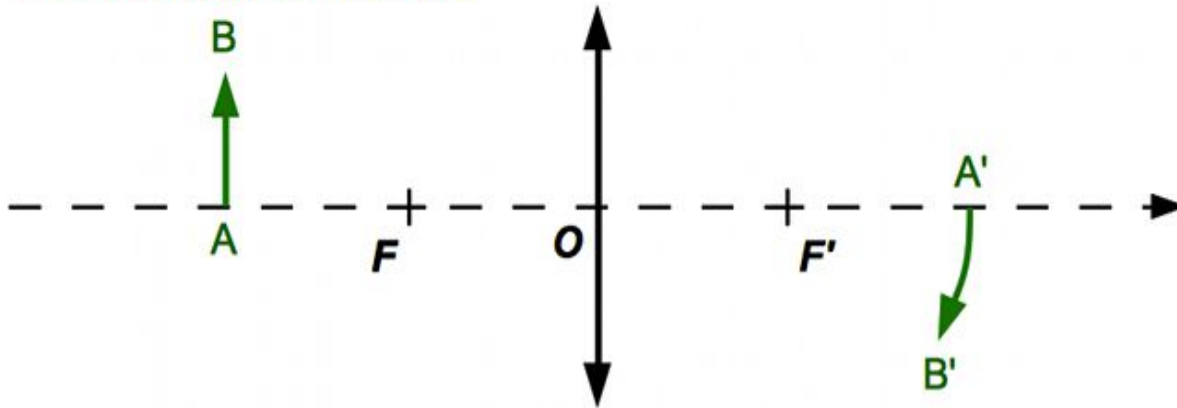
**On dit que le système présente un aplanétisme approché si l'image d'un objet plan orthogonal à l'axe optique est approximativement plane et perpendiculaire à l'axe optique.**

# Aplanétisme (2)

*Système aplanétique*



*Système non aplanétique*



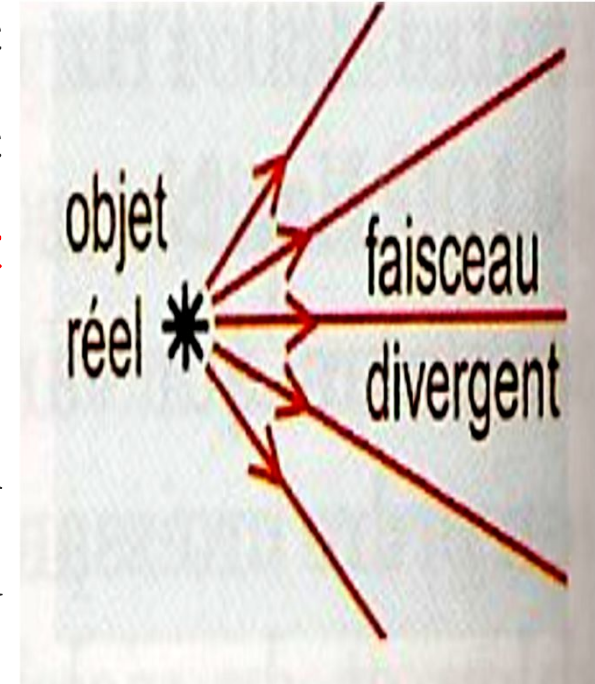
L'objet  $AB$  est perpendiculaire à l'axe optique. Dans le cas du haut, l'image  $A'B'$  est elle aussi perpendiculaire à l'axe optique, le système est aplanétique. Dans le cas du bas, elle n'est pas perpendiculaire à l'axe, elle est tordue. Le système n'est pas aplanétique.

# Nature des objets et des images (1)

⇒ En optique géométrique, une source ponctuelle de rayons (une petite ampoule, une LED etc...) est un **objet réel**.

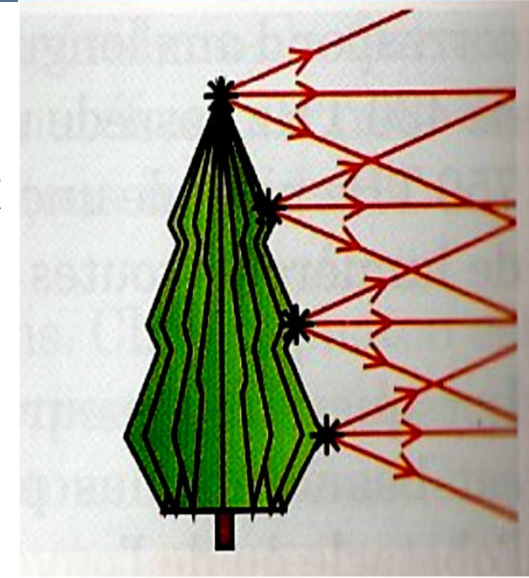
Un **faisceau** est un ensemble de rayons qui diverge à partir d'un point donné ou qui converge vers un point donné.

Les rayons issus d'un objet réel forment un **faisceau divergent** : plus on s'éloigne de l'objet, plus les rayons sont éloignées les uns des autres



# Nature des objets et des images (2)

⇒ Lorsqu'on désire étudier la lumière émise ou réfléchie par un corps dont la taille n'est pas négligeable (**objet étendu**), **on peut considérer chaque point du corps comme étant un objet réel.**

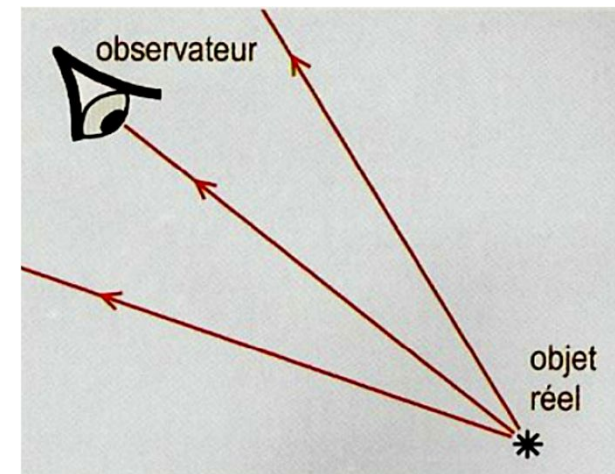
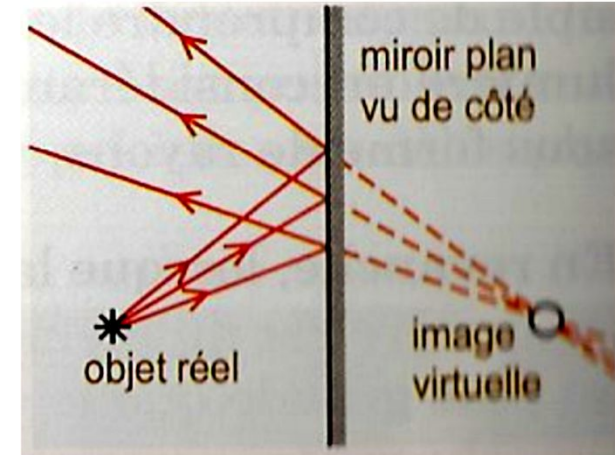


Il n'est pas nécessaire que la source des rayons est « crée » la lumière pour qu'elle soit qualifiée d'objet. Un corps qui ne fait que réfléchir la lumière ambiante peut aussi être considéré comme un objet (c'est la cas de la majorité des objets).

# Nature des objets et des images (3)

⇒ Lorsqu'un objet réel est placé devant un miroir plan, les rayons réfléchis forment un faisceau qui divergent à partir d'un point situé « derrière » le miroir.

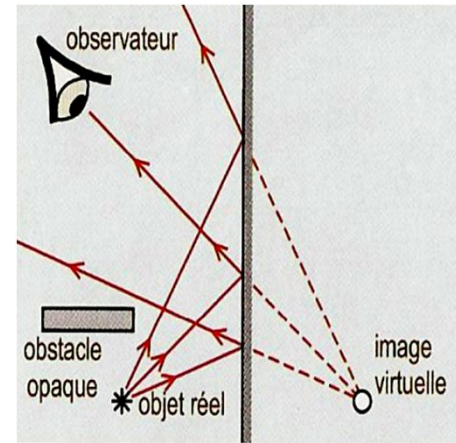
On détermine la position de ce point en prolongeant les rayons réfléchis dans la région derrière le miroir. Ces rayons sont représentés en pointillés, on les appelle des **rayons virtuels**. Il est important de réaliser **qu'il n'y a pas réellement de lumière qui voyage le long des traits en pointillés.**





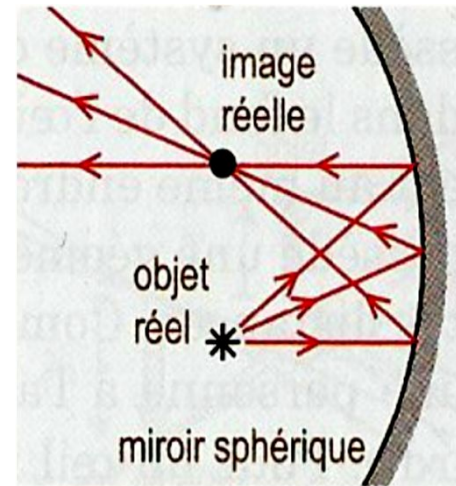
# Nature des objets et des images (4)

Une **image** est le point de divergence (ou de convergence) d'un faisceau de rayons qui a été dévié par un **miroir** (surface réfléchissante), un **dioptre** (interface en deux milieux transparents) ou une **lentille** (chaque face d'une lentille est un dioptre). Un miroir plan donne d'un objet réel une **image virtuelle**.



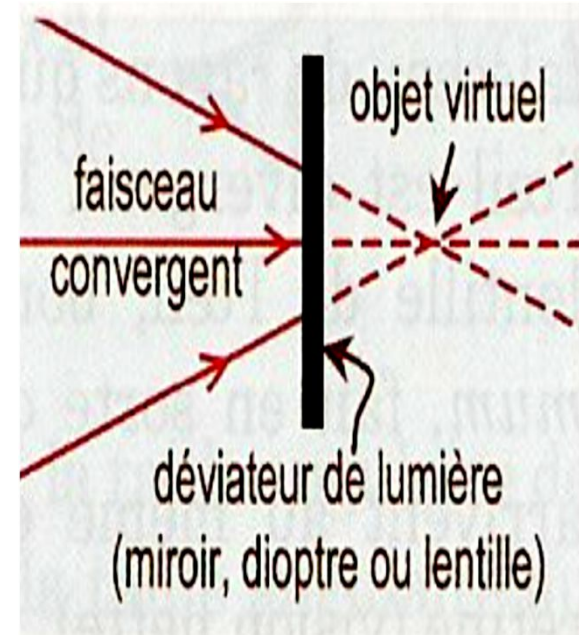
L'adjectif « **virtuel** » signifie que ce sont les **prolongements des rayons qui se croisent à la position de l'image, non les rayons eux-mêmes.**

Il existe aussi des **images réelles**. Lorsque les rayons qui sont déviés par un miroir ou un dioptre se croisent en un point après leur déviation, il y a un image réelle à cet endroit.



# Nature des objets et des images (5)

⇒ De manière générale, l'image formée par un premier déviateur de lumière peut servir d'objet à un second déviateur de lumière; Dans certains cas, le second déviateur reçoit un faisceau convergent (cf. figure ci contre). En optique géométrique, **on définit un objet de manière générale comme le point de convergence ou de divergence du faisceau formé par les rayons incidents avant qu'ils ne soient déviés.** Ainsi le point situé de l'autre côté du déviateur de lumière vers lequel convergent les rayons incidents est qualifié **d'objet virtuel.**



# Nature des objets et des images (6)

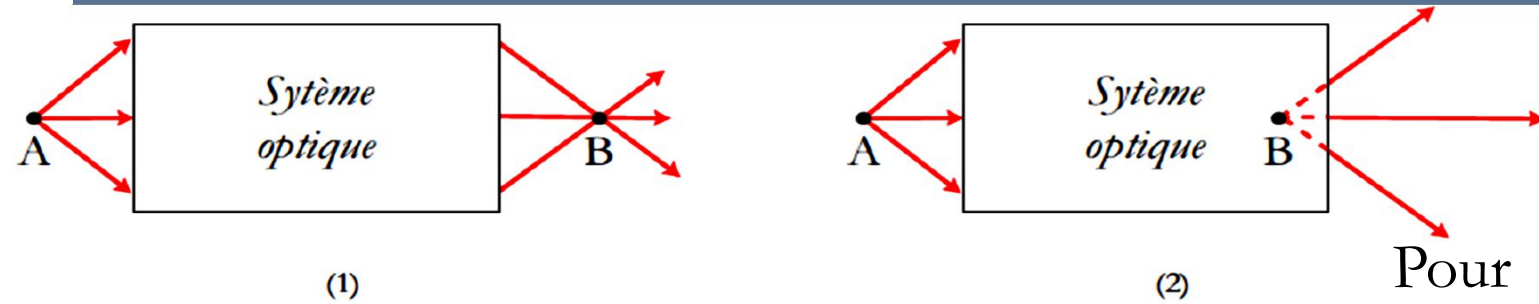
---

On distingue, en optique, deux types d'objets et d'images : "réels" et "virtuels". On prend le sens de propagation de la lumière pour définir "l'amont" (le départ) et "l'aval" (l'arrivé) du système optique (miroir, lentilles,...).

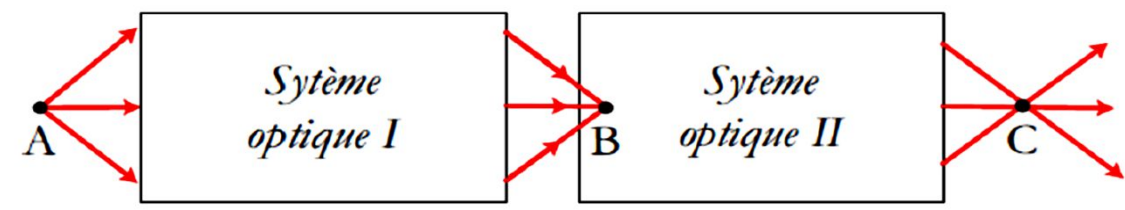
**□ Un objet situé en amont du système optique est réel. S'il est en aval alors l'objet est virtuel.**

**□ Une image située en aval du système optique est réelle. Si elle est en amont alors elle est virtuelle.**

# Nature des objets et des images (7)



Pour le système (1), le point  $A$  est un objet réel et le point  $B$  une image réelle.



Pour le système (2), le point  $A$  est un objet réel et le point  $B$  une image virtuelle.  
Pour le système (3-I), le point  $A$  est un objet réel et le point  $B$  une image réelle.  
Pour le système (3-II), le point  $B$  est un objet virtuel et le point  $C$  une image réelle.  
Pour le système (3-I + 3-II), le point  $A$  est un objet réel et le point  $C$  une image réelle.