

L'optique est la partie de la physique qui s'occupe des phénomènes lumineux c'est-à-dire qui sont directement ou indirectement (par l'intermédiaire de récepteurs) perçus par l'œil.

Historique :

- La cause de ces phénomènes, la lumière, a été étudiée très tôt dans l'histoire des sciences, au point que tous les principes sur lesquels reposent l'optique géométrique et l'optique ondulatoire sont connus depuis le XIX^e siècle. Les « découvertes » ultérieures (début du XX^e siècle) n'ont pas mis en défaut ces théories.

- Optique géométrique

Le premier développement remonte à l'antiquité, avec la légendaire histoire d'Archimède qui aurait incendié la flotte Romaine avec des miroirs (≈ 287 ; ≈ 212 av JC).

1609 : Première lunette astronomique de bonne qualité due à Galilée.

→ Observation de Jupiter.

1611 : Publication de la dioptrique de Kepler.

Construction des premiers microscopes.

1637 : Publication de la dioptrique Descartes.

1657 : Principe de Fermat.

1672 : Premier télescope de Newton.

1673 : Publication de la dioptrique de Descartes.

1676 : Première mesure de la vitesse de la lumière (Römer, Paris).

- Optique ondulatoire

1690 : « Traité de lumière » de Huygens.

1818 : Travaux de Fresnel sur les phénomènes d'interférences et de diffraction.

1887 : Expérience de Michelson et Morley

1905 : Théorie corpusculaire d'Einstein.

Définitions :

Isotrope : même propriété vectorielle en tout point géométrique du milieu, (mêmes propriétés dans toutes les directions).

Homogène : même propriété scalaire en tout point géométrique du milieu, en particulier, la composition est la même en tout point.

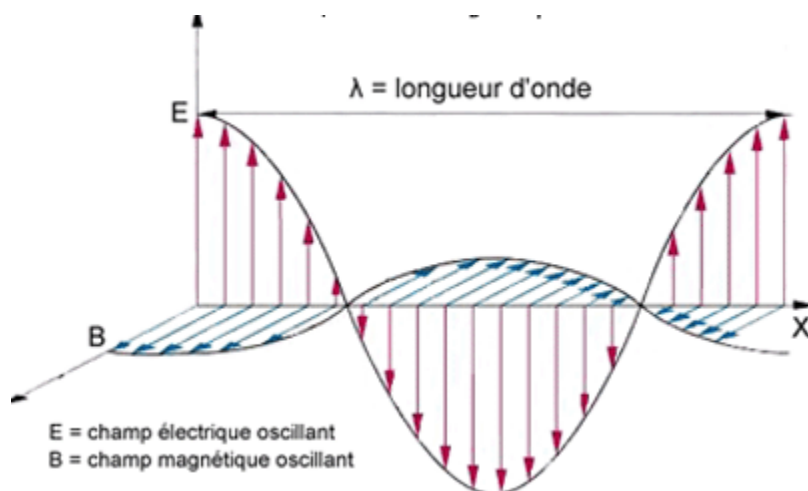
I. Source lumineuse

I.1. La lumière

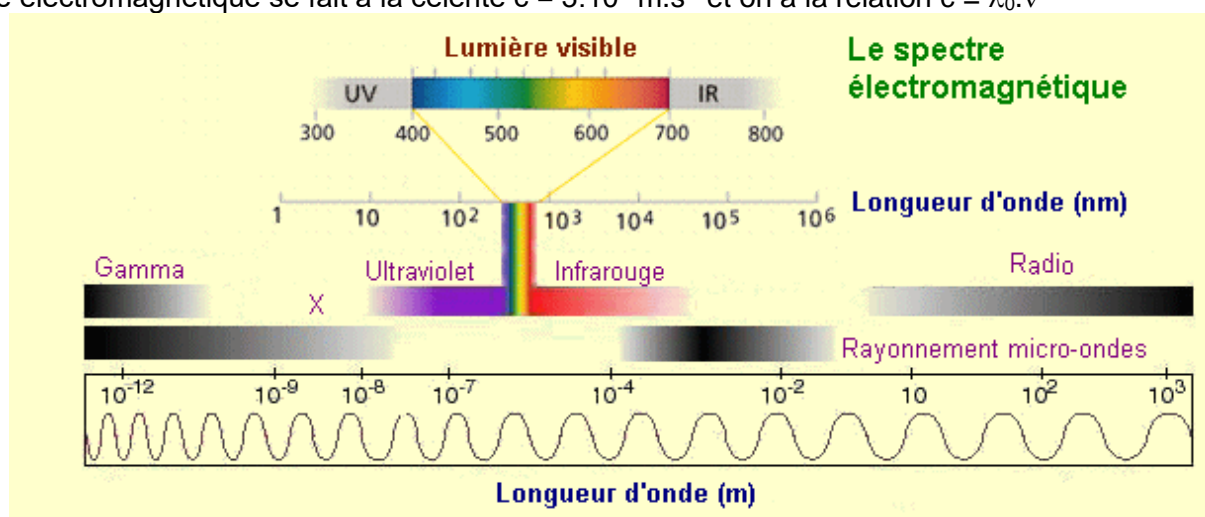
En fonction des propriétés que l'on observe, la lumière est considérée comme une onde électromagnétique : c'est-à-dire une onde, transversale, dont les grandeurs oscillantes sont le champ électrique \vec{E} et le champ magnétique \vec{B} . Elle est caractérisée par une longueur d'onde unique λ lorsqu'on parle de lumière **monochromatique**.

Ainsi la **lumière** est une forme d'énergie susceptible d'impressionner notre œil. C'est une onde électromagnétique (\vec{E}, \vec{B}) dans le visible, ondes auxquelles l'œil humain normal est sensible. (Modèle ondulatoire).

Les champs \vec{E}, \vec{B} sont perpendiculaires entre eux et tous les deux sont perpendiculaires à l'axe de propagation. Dans le vide, deux maxima du champ électrique sont distants de λ_0 . C'est ce que l'on appelle la **longueur d'onde** dans le vide. En un point M donné, l'amplitude de \vec{E} varie sinusoïdalement au cours du temps avec une période T ou une fréquence ν .



Selon la fréquence de l'onde électromagnétique on attribue des noms aux ondes. La propagation de l'onde électromagnétique se fait à la célérité $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ et on a la relation $c = \lambda_0 \cdot \nu$



	λ en m	ν en Hz		λ en m	ν en Hz
Rayon γ	$10^{-14} \text{ -- } 10^{-12}$	$10^{22} \text{ -- } 10^{20}$	Infrarouge	$8 \cdot 10^{-7} \text{ -- } 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{14} \text{ -- } 10^{11}$
Rayon X	$10^{-12} \text{ -- } 10^{-9}$	$10^{20} \text{ -- } 10^{17}$	Communication satellite	$10^{-2} \text{ -- } 10^{-1}$	$10^{10} \text{ -- } 10^9$
Ultraviolet	$10^{-9} \text{ -- } 4 \cdot 10^{-7}$	$10^{17} \text{ -- } 10^{15}$	Ondes radar	$10^{-1} \text{ -- } 1$	$10^9 \text{ -- } 10^8$
visible	$4 \cdot 10^{-7} \text{ -- } 8 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{14} \text{ -- } 4 \cdot 10^{14}$	Ondes radio	$10^{-1} \text{ -- } 10^4$	$10^9 \text{ -- } 10^4$

I.2. Sources lumineuses

• Sources primaires et secondaires :

L'œil ne peut voir des objets que si ceux-ci émettent ou diffusent de la lumière, ces objets sont des sources primaires ou secondaires.

Définition :

Une source primaire est un objet qui émet spontanément de la lumière sans avoir besoin d'être éclairé

Une source secondaire est un objet qui a besoin d'être éclairé pour que l'œil puisse le voir

• Source monochromatique

Définition : Une source de lumière est monochromatique si le spectre de la lumière qu'elle émet ne présente qu'une seule raie.

Une source de lumière monochromatique est caractérisée par une seule fréquence, donc une seule longueur d'onde dans le vide.



Spectre d'une lumière monochromatique

- Source polychromatique

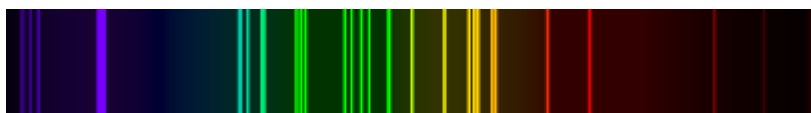
Définition:

Une source de lumière est polychromatique si le spectre de la lumière qu'elle émet présente plusieurs raies.

Une source de lumière polychromatique est caractérisée par plusieurs fréquences, donc plusieurs longueurs d'onde dans le vide.



Spectre de la lumière émise par une lampe à vapeur de sodium



Spectre de la lumière émise par une lampe à vapeur de mercure

- Exemples de sources lumineuses

Le Soleil est une source lumineuse d'origine naturelle. Le spectre de la lumière solaire est continu.



La lumière blanche du Soleil est une lumière polychromatique (spectre continu)



Le Soleil: source de lumière polychromatique

Autres exemples de sources lumineuses:

- Les étoiles
- Les lampes à incandescence
- Les lampes à vapeur
- Les lasers
- Les tubes fluorescents
- Les diodes électroluminescentes

- Source ponctuelle, source étendue

La dimension de la source dépend de la distance à laquelle on l'étudie.

Source	Ponctuelle à distance finie	Ponctuelle à l'infini	Etendue à distance finie	Etendue à l'infini
Primaire	Un pixel d'écran TV	Une étoile	Une ampoule	Le soleil
Secondaire	Une tête d'épingle	Une planète	Une photo	La lune

II. Propagation de la lumière.

II.1. Vitesse de propagation.

On désigne par :

* c la vitesse de propagation de la lumière dans le vide.

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

* v la vitesse de propagation de la lumière dans un milieu transparent donné.

* M un point de l'espace.

→ Milieux transparents : Un milieu qui n'absorbe pas de la lumière.

Un milieu qui n'est pas parfaitement transparent diffuse une partie de la lumière.

→ Le milieu est **inhomogène** si la vitesse de propagation de la lumière dépend du point M : $v(M)$.
Le milieu est **homogène** dans le cas contraire.

→ Le milieu est **isotrope** si la vitesse de propagation de la lumière ne dépend pas de sa direction de propagation. Le milieu est **anisotrope** dans le cas contraire.

II.2. Indice du milieu.

Dans les milieux transparents, on a la relation $v = c / N$ (ex : eau, atm, verre).

N : indice absolu de réfraction du milieu,

L'électromagnétisme donne $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$.

• On observe $N \geq 1$, soit une vitesse de propagation $v \leq c$.

• N dépend à priori de la température, de la pression, de la composition du milieu.

• Pour un milieu donné, la vitesse dépend de la longueur d'onde λ de la radiation, donc N est fonction de λ : on dit que le milieu est **dispersif**.

Exemple : Loi empirique de Cauchy $N = A + \frac{B}{\lambda^2}$.

Valeurs des coefficients A, B dans le modèle de Cauchy pour le calcul de l'indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde où λ est dans l'intervalle de 0.38 à 0.78 μm

	A	B
Fluorite	1,43000	0,00134810
Verre de quartz	1,45040	0,00184150
Verre, crown, borosilicate	1,49060	0.00679350
Verre, crown, télescope	1,51720	0.00476320
Crystal de quartz	1,53140	0,00443350
Verre, flint, baryum	1,58420	0,00454250
Verre, flint, léger	1,59440	0,00766860

• Quelques valeurs :

Vide $N \approx 1$ ($\forall \lambda$)

Air $N = 1.000\,293$ (dans le Jaune très peu dispersif)

Eau $1.331 < N < 1.338$ (pour le visible)

• Application: dispersion de la lumière: * par un prisme

* par les gouttelettes d'eau en suspension dans l'air : Arc-en-ciel.

Dans un milieu dispersif l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde ce qui permet de décomposer la lumière polychromatique en différents rayons monochromatiques. Comme nous le verrons la déviation d'un rayon dépend de l'indice et donc de sa longueur d'onde. Ainsi les rayons bleus sont plus déviés que les rayons rouges et les couleurs sont ainsi séparées : c'est la phénomène de dispersion.

Lorsque la lumière blanche du soleil pénètre dans une goutte de pluie, elle est dispersée, cela crée les couleurs de l'arc en ciel.



Dans de nombreux cas, les sources seront considérées monochromatiques ($\lambda = \text{cst}$) de sorte que l'indice du milieu soit constant.

III. Approximation de l'optique géométrique.

III.1. Le cadre de l'optique géométrique

• Certains phénomènes, comme la formation géométrique des images par les instruments d'optique, peuvent s'interpréter dans le cadre d'une théorie qui fait totalement abstraction de la nature ondulatoire ou corpusculaire de la lumière.

C'est l'étude des ondes électromagnétiques dans le visible, et plus précisément de la marque des rayons lumineux dans des milieux transparents.

Milieux transparents : Un milieu qui n'absorbe pas de la lumière.
Un milieu qui n'est pas parfaitement transparent diffuse une partie de la lumière.

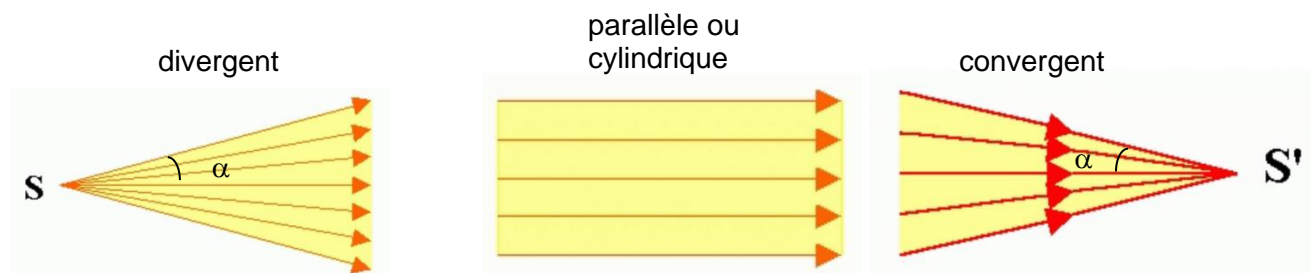
Domaine du visible : λ environ de 0.4 à 0.7 μm

Couleur	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
λ moyen (en μm)	0.40	0.47	0.52	0.58	0.60	0.65

III.2. Le rayon lumineux

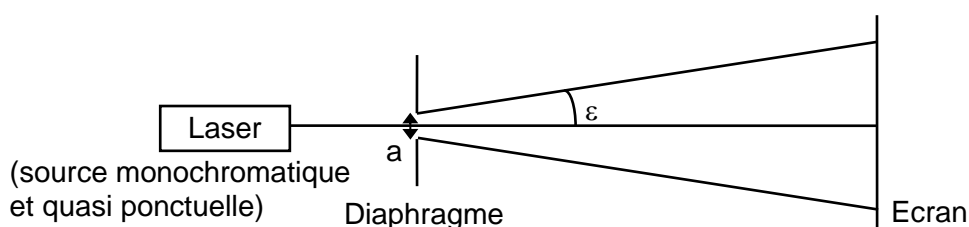
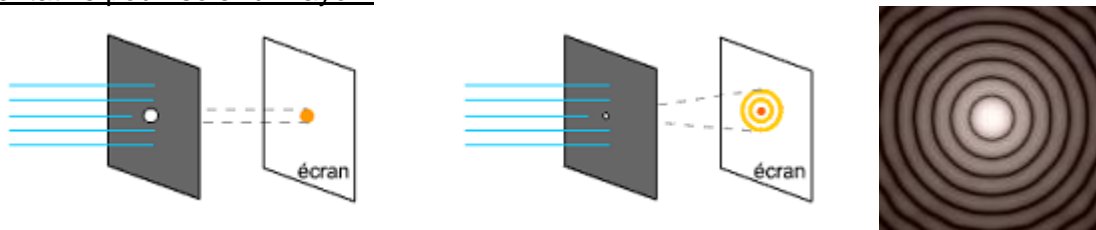
Rayon :
→ C'est un instrument de travail de l'optique géométrique.
→ C'est le trajet suivi par la lumière pour aller d'un point à un autre
* Trajet rectiligne dans un milieu transparent homogène.
* Trajet courbé si le milieu est non homogène.

Faisceau lumineux : Lumière contenue à l'intérieur d'un cône ou d'un cylindre fictif. Un faisceau lumineux est un ensemble de rayons lumineux.



Pinceau : Faisceau de faible ouverture ($\alpha \ll 1$) ou encore faisceau parallèle très étroit.

• Tentative pour isoler un rayon.



Si a diminue la trace sur l'écran augmente :

→ Phénomène de diffraction.

→ Elargissement caractérisé par un étalement angulaire ε .

Ordre de grandeur des phénomènes de diffraction : $\varepsilon = \lambda / a$

Exemple : $\lambda \approx 0.5 \mu\text{m}$; $a \approx 1 \text{ mm} \Rightarrow \varepsilon \approx 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$.

Pour pouvoir appliquer les lois de l'optique géométrique, il faut donc considérer des faisceaux lumineux limités par des diaphragmes dont les dimensions linéaires sont grandes devant la longueur d'onde (en pratique supérieure à 400 fois la longueur d'onde, soit supérieure à 0,2 mm)

Isoler un rayon : impossible, le diaphragme provoque la diffraction.

IV. Lois de l'optique géométrique

IV.1. Retour inverse

L'expérience montre que dans un milieu transparent et isotrope (homogène ou non) le trajet de la lumière est indépendant du sens du parcours.



Autrement dit si un rayon lumineux part d'un point A pour aller vers un point B suivant un certain trajet, un autre rayon lumineux peut partir de B et suivre le même trajet pour aller en A.

IV.2. Propagation rectiligne

Dans un milieu transparent, homogène et isotrope, l'expérience montre que la lumière se propage en ligne droite.

Trajectoire de la lumière : rayon lumineux.

IV.3. Indépendance des rayons lumineux

Le trajet d'un rayon lumineux n'est pas affecté par la présence d'autres rayons lumineux.

Cette propriété est utilisée dans la construction d'image en optique géométrique.

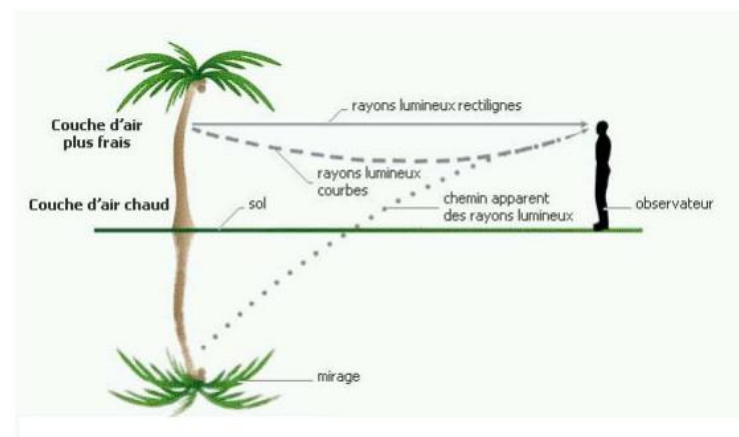
Ainsi il n'est pas nécessaire d'isoler un rayon lumineux, il suffira de savoir qu'il existe pour faire les constructions géométriques.

IV.4. Les limites du modèle

IV.4.1. Milieux non homogènes.

Dans les milieux non homogènes, l'indice dépend du point M, et les rayons lumineux ne suivent plus des trajectoires rectilignes.

Exemple : phénomènes de mirage.



Quand z augmente la température diminue et l'indice du milieu augmente. Les rayons lumineux sont courbés, ils semblent provenir du sol comme s'ils avaient subi une réflexion sur une surface réfléchissante telle une nappe d'eau.

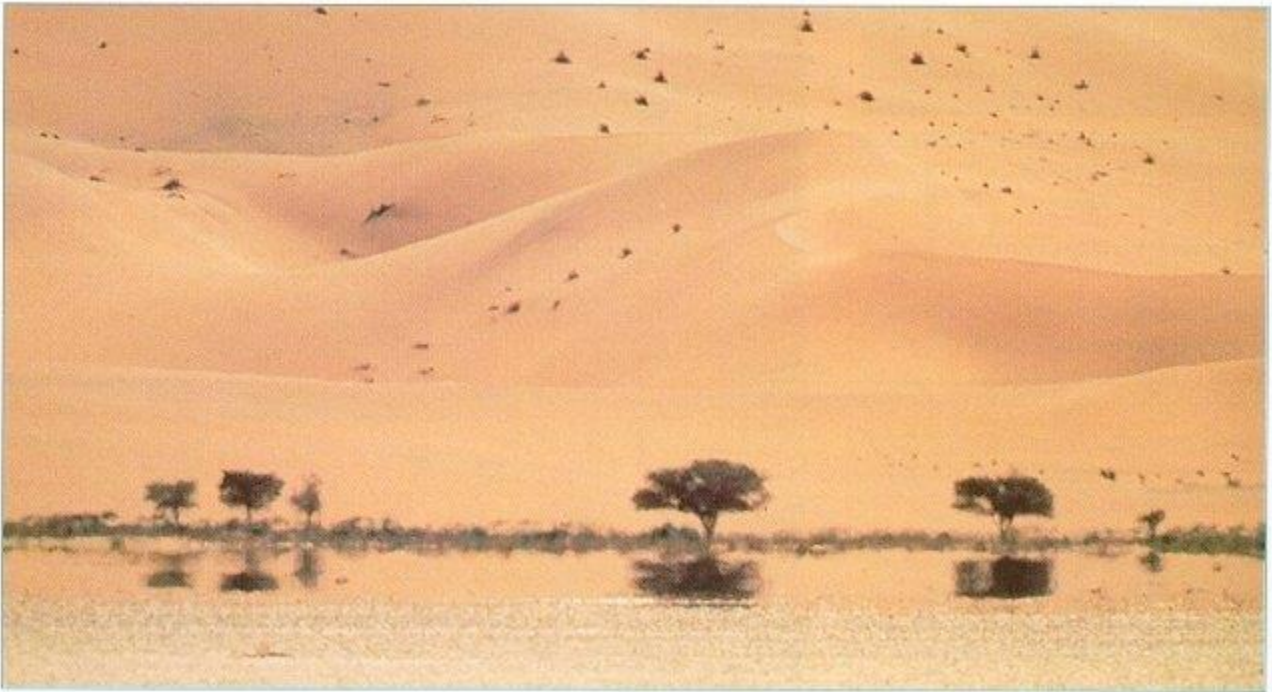
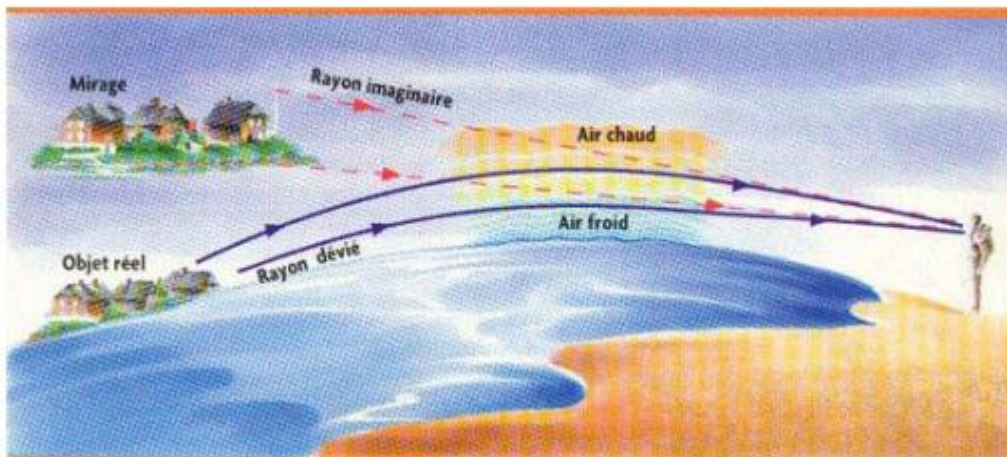


Fig. 2. Mirage inférieur (encore appelé mirage chaud) dans le désert du Namib, en Afrique australe. L'appareil photographique a enregistré deux images : celle correspondant à un trajet rectiligne (MO) et celle correspondant à un trajet avec réflexion totale (MRO).

D'après "Physique Chimie 2e" de A. Tomasino, etc. chez Nathan (1997)

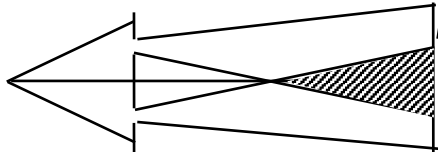
Autre exemple



IV.4.2. Domaine de l'optique physique.

Dans certaines circonstances, les rayons lumineux ne sont plus indépendants mais interfèrent.

→ Phénomènes d'interférence.



On attend une tâche lumineuse intense, on observe des franges (alternance de raies sombres et claires)



→ Phénomènes de diffraction : impossibilité physique d'isoler un rayon.

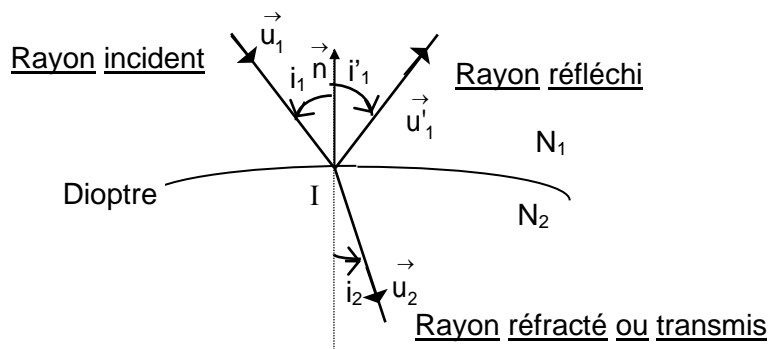
V. Lois de Descartes

V.1. Définitions

dioptre ou **surface dioptrique** : une surface S séparant deux milieux transparents, homogènes et isotropes d'indices N_1 et N_2 ,

Un rayon lumineux tombant sur le dioptre en un point I est appelé **le rayon incident**, le point I **le point d'incidence**.

On appelle **le plan d'incidence** le plan défini par le vecteur normal au dioptre en I et \vec{u}_1



Une partie de ce rayon se réfléchit sur le dioptre, **le rayon réfléchi** : propagation dans le milieu d'indice N_1 et une autre partie le traverse, **le rayon réfracté** : propagation dans le milieu d'indice N_2 .

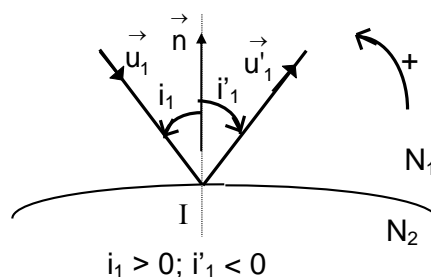
V.2. Lois de la réflexion

• **1^{ère} loi** : Les plans d'incidence (\vec{u}_1, \vec{n}) et de réflexion (\vec{u}'_1, \vec{n}) sont confondus.

• **2^{ème} loi** : $i'_1 = -i_1$.

La figure ci-contre est dans le plan d'incidence.

Le rayon réfléchi existe toujours.



V.3. Lois de la réfraction

V.3.1. Enoncé des lois

• **1^{ère} loi** : Les plans d'incidence (\vec{u}_1, \vec{n}) et de réfraction (\vec{u}_2, \vec{n}) sont confondus.

• **2^{ème} loi** : $N_1 \sin i_1 = N_2 \sin i_2$.

La figure ci-contre est dans le plan d'incidence.

V.3.2. Remarques

• Cas $i_1, i_2 \ll 1$ rad : Loi de Kepler $N_1 i_1 = N_2 i_2$. Les lois de la réfraction et de la réflexion sont dans ce cas linéaires. La linéarité des lois de Descartes pour les petits angles est à la base de l'approximation de Gauss.

• Indice relatif : $n_{2/1} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow$ la loi de la réfraction : $\sin i_1 = n_{2/1} \sin i_2$.

Les valeurs tabulées d'indices donnent souvent l'indice du milieu transparent par rapport à celui de l'air.

Exemple : indice relatif du verre $n_{\text{verre}/\text{air}} = \frac{N_{\text{verre}}}{N_{\text{air}}}$.

• Une réflexion est identique à une réfraction dans un milieu d'indice $-N_1$

$\begin{cases} N_1 \sin i_1 = N_2 \sin i_2 \\ N_1 = -N_2 \end{cases} \Rightarrow i'_1 = i_2 \Rightarrow i'_1 = -i'_1$.

On privilégie l'étude théorique de la réfraction.

V.3.3. Existence d'un rayon réfracté

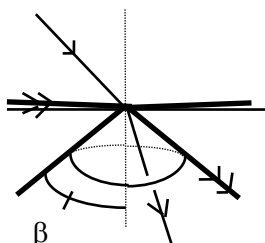
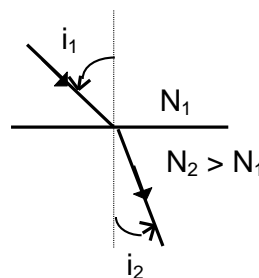
- 1^{er} cas $N_1 < N_2$: on dit que le milieu 2 est plus réfringent que le milieu 1.

$$\rightarrow \sin i_2 = \frac{N_1}{N_2} \sin i_1 < \sin i_1 \Rightarrow i_2 < i_1$$

→ Cas limite, incidence rasante : $i_1 = \pi/2$.

On en déduit l'angle limite de réfraction : β tel que $\sin \beta = \frac{N_1}{N_2}$.

Le rayon réfracté existe toujours. Il est contenu dans un cône de demi-angle au sommet β : le cône de réfraction.

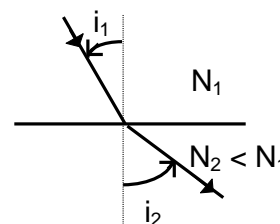


- 2^{em} cas $N_1 > N_2$: on dit que le milieu 2 est moins réfringent que le milieu 1.

$$\rightarrow \sin i_2 = \frac{N_1}{N_2} \sin i_1 > \sin i_1 \Rightarrow i_2 > i_1 \text{ si le rayon réfracté existe.}$$

→ Cas limite: $i_2 = \pi/2$ réflexion totale, on en déduit l'angle limite d'incidence α pour qu'il existe un rayon réfracté $\sin \alpha = \frac{N_2}{N_1}$.

Si $i_1 > \alpha$ il y a réflexion totale.

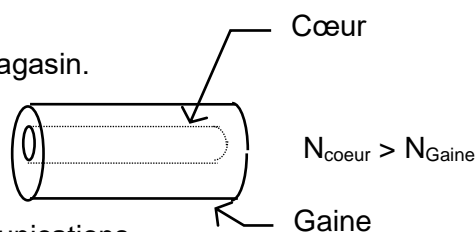


(animation flash Descartes)

Applications:

→ Réflexion sur une vitrine d'un magasin.

→ Fibre optique

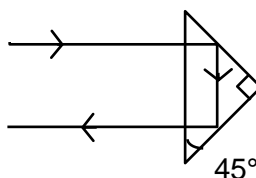


Applications médicales, télécommunications ...

→ Prisme à réflexion totale, (utilisé par exemple sur les sondes interplanétaires, catadioptre pour signalisations routières.

$$n_{\text{v/air}} = \frac{N_{\text{verre}}}{N_{\text{air}}} = 1.5 \Rightarrow \sin \alpha = 1/1.5$$

$$\Rightarrow \alpha \approx 42.5^\circ < 45^\circ = i_1$$



OG1 APPROXIMATION DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE

<u>I. Source lumineuse</u>	<u>1</u>
I.1. La lumière.....	<u>1</u>
I.2. Sources lumineuses.....	<u>2</u>
<u>II. Propagation de la lumière</u>	<u>3</u>
II.1. Vitesse de propagation.....	<u>3</u>
<u>III. Approximation de l'optique géométrique</u>	<u>5</u>
III.1. Le cadre de l'optique géométrique.....	<u>5</u>
III.2. Le rayon lumineux.....	<u>5</u>
<u>IV. Lois de l'optique géométrique</u>	<u>6</u>
IV.1. Retour inverse.....	<u>6</u>
IV.2. Propagation rectiligne.....	<u>6</u>
IV.3. Indépendance des rayons lumineux.....	<u>6</u>
IV.4. Les limites du modèle.....	<u>6</u>
IV.4.1. Milieux non homogènes.....	<u>6</u>
IV.4.2. Domaine de l'optique physique.....	<u>7</u>
<u>V. Lois de Descartes</u>	<u>8</u>
V.1. Définitions.....	<u>8</u>
V.2. Lois de la réflexion.....	<u>8</u>
V.3. Lois de la réfraction.....	<u>8</u>
V.3.1. Enoncé des lois.....	<u>8</u>
V.3.2. Remarques.....	<u>8</u>
V.3.3. Existence d'un rayon réfracté.....	<u>9</u>

Annexe**Construction de Descartes pour un dioptre plan.**

1. Tracer le rayon incident.
2. Tracer un cercle C_1 de centre I (intersection du rayon incident avec le dioptre) et de rayon n_1 .
3. Tracer un demi-cercle C_2 de centre I (intersection du rayon incident avec le dioptre) et de rayon n_2 dans le milieu émergent.
4. Prolonger dans le milieu émergent le rayon incident pour couper le cercle C_1 au point A' .
5. Tracer la droite parallèle à la normale au dioptre passant par A' , elle coupant le cercle C_2 dans le milieu émergent au point A'' , le dioptre au point H et le cercle C_1 dans le milieu incident au point A.
6. Tracer la droite (IA) dans le milieu incident : c'est le rayon réfléchi.
7. Tracer la droite (IA'') dans le milieu émergent : c'est le rayon réfracté.

$$\sin i_1 = \frac{M'A'}{IA'} = \frac{M''A''}{n_1}$$

$$\sin i_2 = \frac{M''A''}{IA''} = \frac{M''A''}{n_2}$$

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

