

A. OPTIQUE GEOMETRIQUE

Introduction :

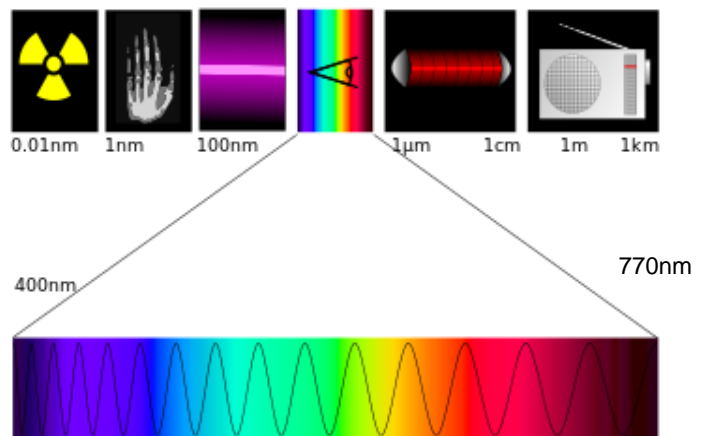
La lumière est le principal moyen pour découvrir le monde qui nous entoure : c'est peut-être pourquoi la nature de la lumière a fait l'objet d'un débat qui figure parmi les plus long de l'histoire des sciences.

D'un côté les grecs anciens (3 sc. av J.C.) ou Descartes (1637) et Newton (1707) envisageaient la lumière comme un flux de particules qui était émis par une source de lumière et qui stimulaient la vision en tombant dans l'œil d'un observateur.

D'un autre côté Huygens (1690) argumentait que la lumière devait se comporter comme une onde puisque deux faisceaux peuvent s'entrecroiser sans qu'on observe des collisions.

En Terminale la double nature corpusculaire et ondulatoire sera analysée plus en détails. Pour le moment il suffit de savoir que la lumière est formée par des rayonnements électromagnétiques visibles, c'est-à-dire susceptibles d'être perçus directement par un oeil humain. On désigne par spectre la décomposition de la lumière dans les couleurs de l'arc en ciel qu'il contient.

La lumière est donc de même nature que les ondes radio ou les rayons X. Les longueurs d'onde des ondes électromagnétiques visibles s'étendent de 400 et 770 nm.



Il est de tradition de séparer optique géométrique et optique physique. La première se contente d'expliquer par des méthodes relativement simples la propagation de la lumière à travers différents milieux optiques. Le concept central est le rayon lumineux. (Strahlenoptik).

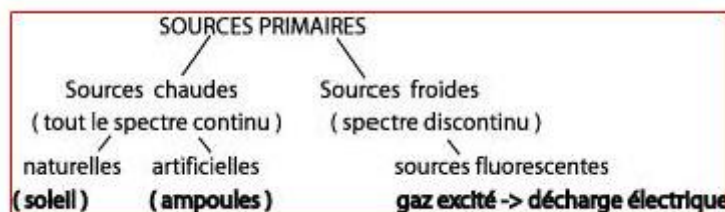
L'optique physique étudie des phénomènes où la nature ondulatoire joue un rôle, elle s'intéresse aux concepts énergétiques et analyse la nature corpusculaire avec les photons. (Wellenoptik, Quantenoptik).

1. Propagation de la lumière

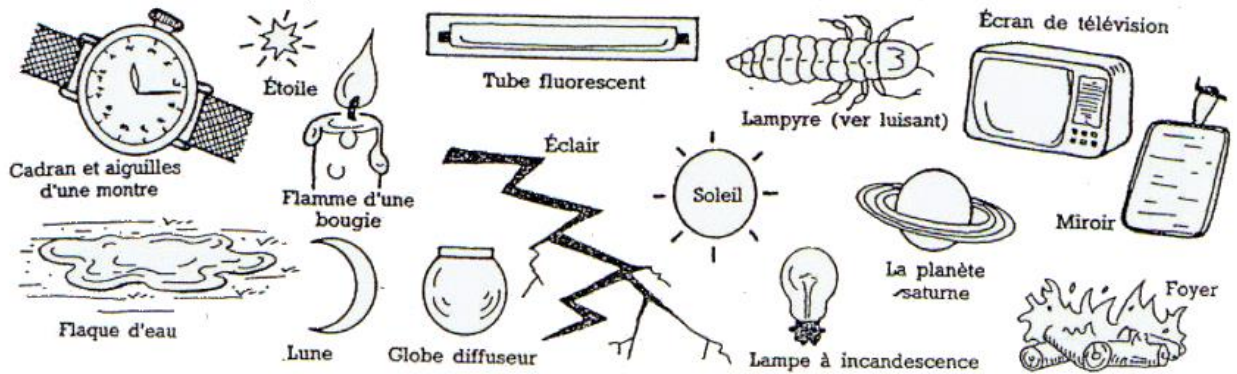
1.1. Sources lumineuses et objets éclairés

On appelle source lumineuse un corps ou dispositif qui émet de la lumière.

Pour être bien précis on parle d'une source primaire si le corps produit lui-même la lumière à partir d'une autre forme d'énergie.



Un corps éclairé qui renvoie la lumière est une source secondaire.



Exercice : Classer dans primaire chaud=C, primaire froid=Fet secondaire=S

1.2. Faisceaux et rayons lumineux

Définition : On appelle rayon toute trajectoire selon laquelle la lumière se propage. Un faisceau lumineux est un ensemble de rayons qui éclairent une portion de l'espace.

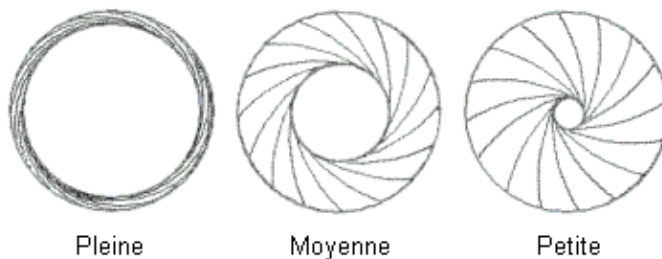
En réalité on observe toujours un faisceau de lumière qui se propage à partir d'une source de lumière. Pour le visualiser il faut des objets éclairés sur son parcours (fumée p.ex.). Pour le représenter on trace les rayons limites du faisceau.

Expérience : Différents faisceau sur le tableau optique. Effets miroirs et lentille.

faisceau convergent	Faisceau divergent	Faisceau parallèle	Faisceau diffus

Un rayon serait un faisceau infiniment petit ce qui n'est pas réalisable. Pratiquement on utilise un faisceau parallèle dont on réduit le diamètre avec un diaphragme. Un pinceau correspond à un faisceau de petite ouverture.

Ouverture du diaphragme



Définition : On appelle point objet le point à partir duquel proviennent (ou semble provenir) les rayons considérés.

1.3 Propagation rectiligne de la lumière

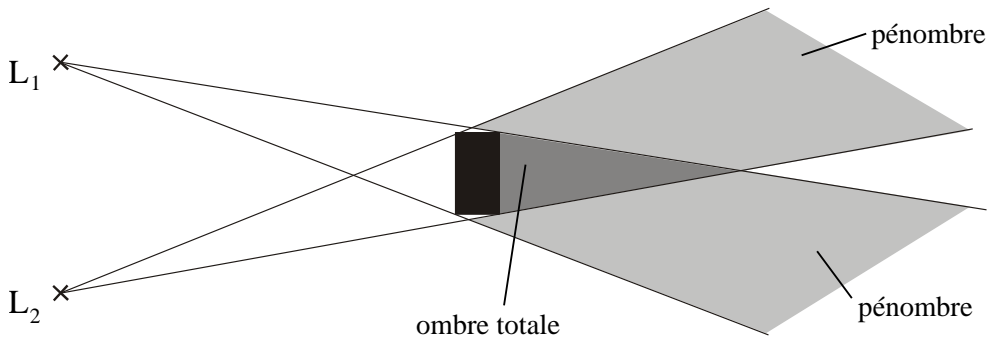
On constate que dans un milieu homogène et isotrope la lumière se propage en ligne droite.

- Un milieu est dit homogène si toutes ses parties sont identiques.
- Un milieu est dit isotrope s'il est doté des mêmes propriétés dans toutes les directions.

Par exemple les liquides, les gaz sont généralement homogènes et isotropes. En revanche certains cristaux de quartz transparents sont homogènes mais non isotropes car la vitesse de la lumière dépend de la direction de propagation. D'un autre côté des différences de températures ou de concentration suffisent déjà à provoquer une inhomogénéité.

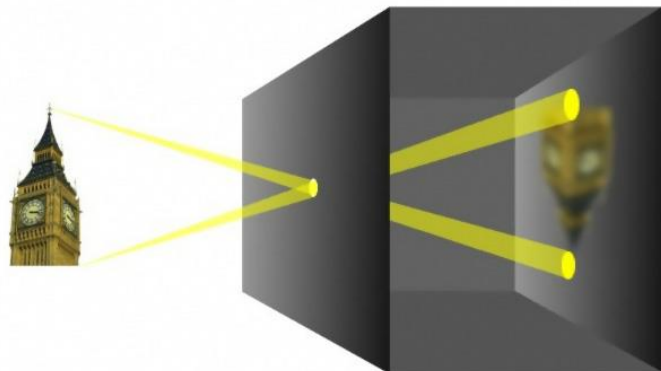
Expérience : Laser fumée & chandelle. Evtl. eau salée à différentes concentrations

Une application de la propagation rectiligne de la lumière est la construction de l'ombre que jette un corps placé entre une source et un écran.



La propagation rectiligne de la lumière explique aussi le fonctionnement de la **camera obscura**.

Il s'agit d'un boîtier « obscur » avec d'un côté un petit trou et de l'autre un écran translucide. La lumière issue d'un corps éclairé placé devant le trou donne sur l'écran une image renversée parce que les rayons qui atteignent l'écran traversent le trou en se croisant.



Propriétés optiques des corps

- corps opaque = renvoie la lumière sans la laisser passer
- corps transparent = laisse passer la lumière sans la diffuser (permet de voir à travers)
- corps translucide = laisse passer la lumière en la diffusant (ne permet pas de voir)
- corps absorbants = retient presque toute la lumière (corps noir)
- corps réfléchissant = qui renvoie la lumière de toutes les couleurs (albédo = énergie solaire réfléchie/énergie solaire incidente)

1.4 Vitesse de la lumière

La vitesse de propagation de la lumière est très grande. Il était longtemps difficile de la déterminer avec précision. Lien sur les méthodes historiques :

http://media4.obspm.fr/public/AMC/pages_base-optique-geo/bog-mesure-c.html

Aujourd'hui la vitesse de la lumière dans le vide est connue avec grande précision :

$c = 299.792.458 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. La valeur 100% exacte est due à la définition du mètre comme étant la distance que parcourt la lumière en $1/299792458 \text{ s}$.

La vitesse de la lumière dans un milieu transparents (verre, eau, huile, ...) est toujours plus faible que dans le vide. L'indice de réfraction n d'un milieu correspond au rapport entre la vitesse de la lumière c_0 dans le vide et celle c dans le milieu. $n > 1$

$$n = \frac{c_{0\text{vide}}}{c_{\text{milieu}}}$$

Application :

La lumière parcourt une distance $d=45\text{km}$ en une durée $t=0.23\text{ms}$ dans le coeur, en verre, d'une fibre optique d'un réseau de télécommunications.

- Calculer en m/s la vitesse de propagation de la lumière dans le coeur de la fibre optique.
- Déduire l'indice de réfraction.
- Quel temps en ms prendrait la lumière pour la même distance dans le vide ?

2. Réflexion et réfraction de la lumière

On analyse ce qui arrive si la lumière tombe sur une interface entre 2 milieux transparents

On a deux cas:

- réflexion: la lumière est renvoyée par la surface lisse et retourne dans le milieu 1.
- réfraction: la lumière passe dans le deuxième milieu transparent et change de direction.

2.1 Lois de la réflexion:

Rayon incident (einfallender Strahl)

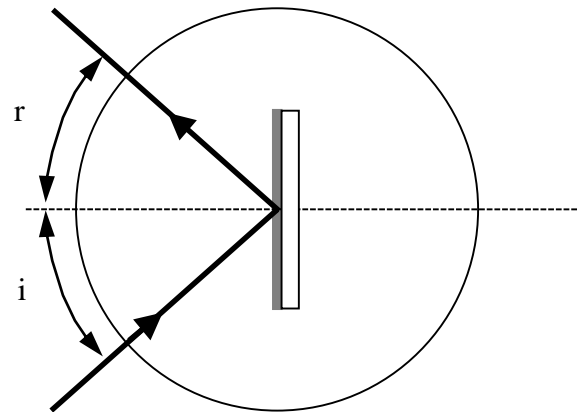
Rayon réfléchi (reflektierter Strahl)

Point d'incidence (Einfallspunkt)

Normale = droite tracée de manière perpendiculaire à la surface réfléchissante au point d'incidence (Lot).

Angle d'incidence i = angle entre le rayon incident et la normale

Angle de réflexion r = angle entre le rayon réfléchi et la normale



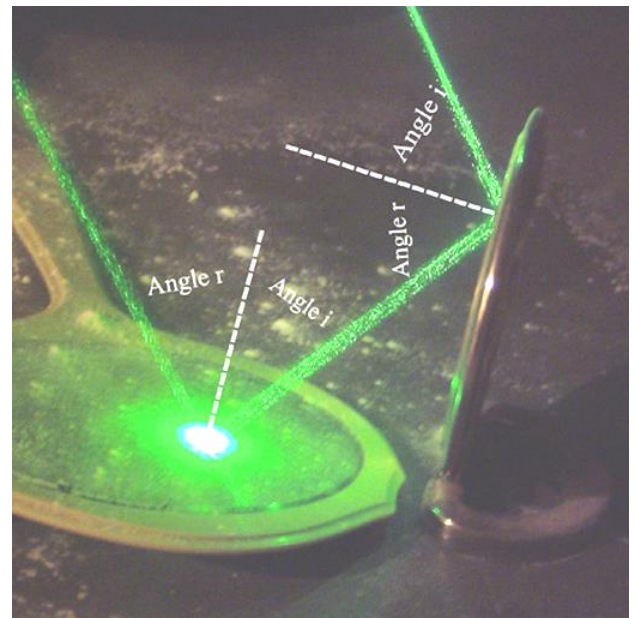
L'analyse des propriétés d'un faisceau réfléchi par un miroir donne la

Loi de la réflexion :

- angle de réflexion = angle d'incidence
- le rayon réfléchi se situe dans le plan défini par le rayon incident et la normale.
Plan de réflexion = Plan d'incidence

Faire l'expérience avec du brouillard et un rayon laser réfléchi par un miroir pour vérifier la 2^e propriété.

(cf. Photo)



2.2 Construction de l'image d'un objet dans un miroir plan

La loi de réflexion vaut point par point même pour des surfaces plus complexes. On distingue réflexion spéculaire sur une surface lisse et réflexion diffuse sur une surface irrégulière.

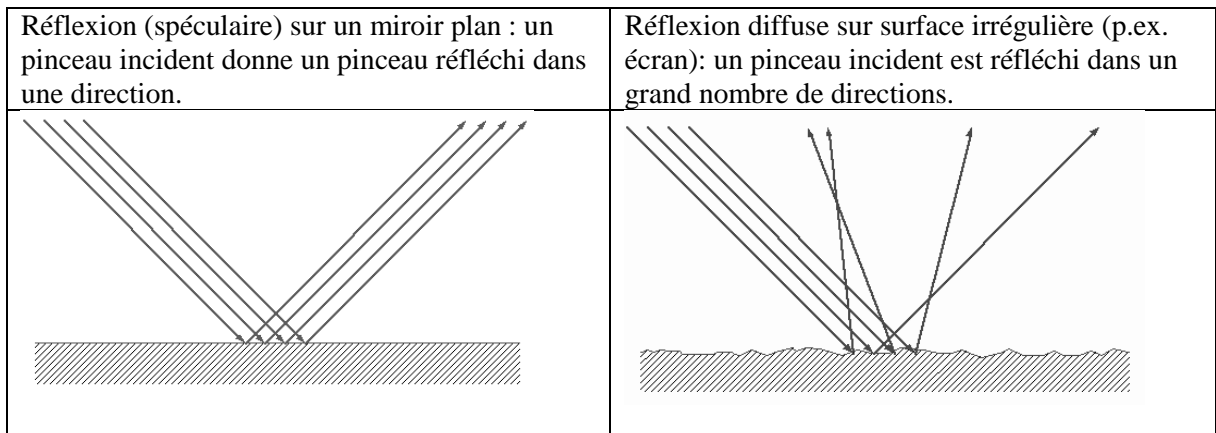
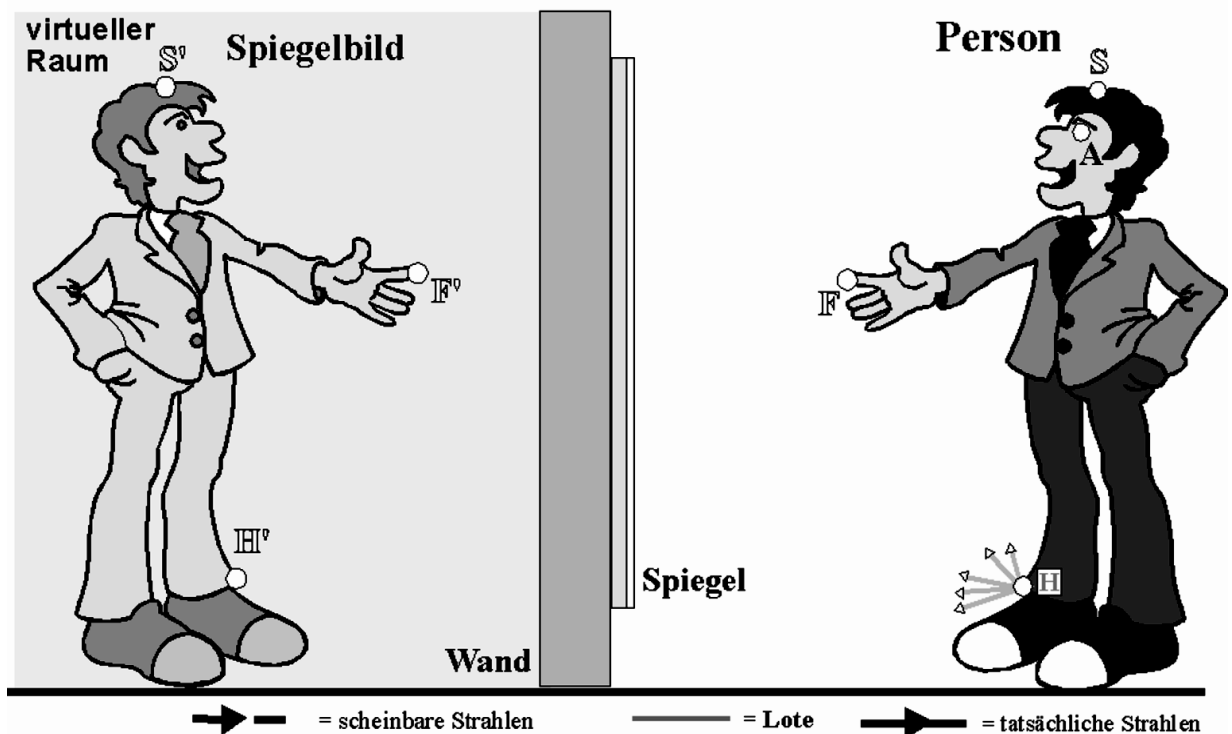
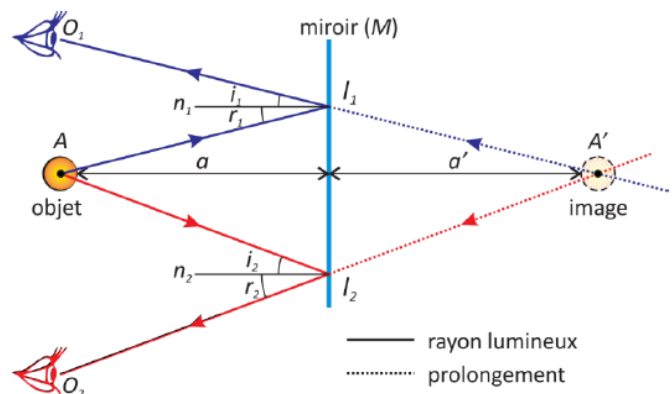


Image virtuelle derrière le miroir :

Considérons un point objet A qui émet des rayons lumineux sur un miroir plan. Après réflexion ces rayons semblent provenir d'un point image virtuel A' (virtuel car il n'y a pas réellement de la lumière en ce point) qui est situé de manière symétrique derrière le plan du miroir.

Ceci reste vrai quelque soit la position de l'observateur devant le miroir.

Exercice : Déterminer la taille et la position d'un miroir dans lequel on peut se voir en entier.



2.3 Lois de la réfraction (lois de Snell-Descartes)

a) Phénomène de réfraction

Exercice : Citer des exemples où il se manifeste que le chemin optique est visiblement « brisé » entre deux milieux transparents.

Réfraction = brusque changement de direction d'un rayon lumineux à la surface de séparation entre deux milieux transparents (dioptre).

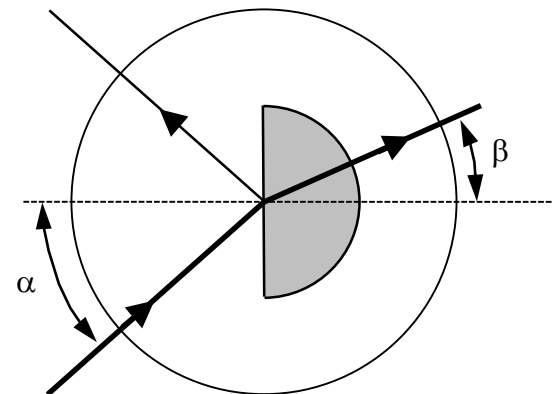
Expérience: Réfraction sur demi cylindre en verre

- Le rayon incident, le rayon réfracté et la normale sont situés dans un même plan.
- incidence normale $\alpha=0$, le rayon n'est pas dévié
- passage air→verre, le rayon réfracté se rapproche de la normale
- passage verre→air, le rayon réfracté s'écarte de la normale et à partir d'un certain angle limite il y a réflexion totale
- la réfraction est toujours accompagnée d'une réflexion. La proportion de lumière réfléchie devient plus importante si l'angle d'incidence devient plus grand.

b) Indice de réfraction

Le phénomène de réfraction résulte du fait que la vitesse de la lumière est plus faible dans un milieu plus réfringent (plus dense). Pour caractériser un milieu optique on détermine son indice de réfraction par rapport à l'air (le vide).

α (°)	β (°)	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$
0			
20			
40			
60			
80			
≈90			



On constate que le rapport des sinus des angles est constant. Ce rapport $n = \frac{\sin \alpha(\text{vide})}{\sin \beta(\text{milieu})}$ est l'indice de refraction du milieu (par rapport au vide).

L'angle qu'on obtient pour une incidence rasante $\alpha \approx 90^\circ$ s'appelle l'angle limite θ_L .

Ici: $n = \underline{\hspace{2cm}}$ et $\theta_L = \underline{\hspace{2cm}}$ pour le plexiglas.

L'angle limite peut se calculer également à partir de l'indice de réfraction : (établir)

....

$$\theta_L = \sin^{-1}(1/n)$$

Plus l'indice de réfraction est élevé, plus la déviation par réfraction est importante.

Si on inverse le sens de la lumière, les angles correspondants α dans l'air/vide et β dans le verre restent les mêmes.

Simulations : https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_fr.html

c) Lois de la réfraction (pour 2 milieux d'indice n_1 et n_2 cf. TP Loi de réfraction)

Considérer le passage d'un milieu n_1 vers l'air et de l'air vers un milieu n_2 et combiner les équations.

Lois de la réfraction :

1) Plan de réfraction = Plan d'incidence

2) Avec α_1 angle d'incidence dans le milieu 1, α_2 angle de réfraction dans le milieu 2 et n_1 et n_2 l'indice de réfraction respectif des 2 milieux on a :

$$n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2$$

Ex A. : Illustrer pour $\alpha_1=30^\circ$ et $n_1=1,33$ (eau) et $n_2=1,5$ (verre)

[Simulation changer le milieu](#)

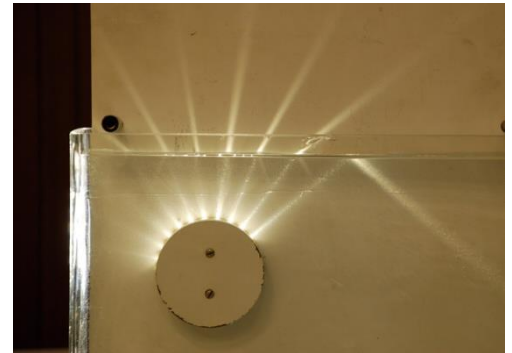
d) Réflexion totale

Pour le passage verre→air le rayon réfracté s'écarte de la normale. Cela n'est possible que jusqu'à ce que le rayon sortant dans l'air devient rasant $\alpha_2=90^\circ$. Pour un angle d'incidence α_1 supérieur à l'angle limite θ_L on constate la réflexion totale.

[Simulation changer plus réfringent => moins réfringent](#)

Expérience eau et faisceaux orientables.

Ex B: Calcule l'angle limite de réflexion totale pour le passage eau-air et diamant-air.



2.4 Causes de la réfraction - Principe de Fermat

Interprétation du phénomène de réfraction en terme de moindre temps de parcours ou plutôt en terme de moindre temps (chemin optique). C'est Fermat qui a introduit cette interprétation.

Énoncé du principe de Fermat : La lumière se propage d'un point à un autre sur des trajectoires telles que la durée du parcours soit minimale.

(Illustration métaphore du nageur)

Réfraction : métaphore du nageur

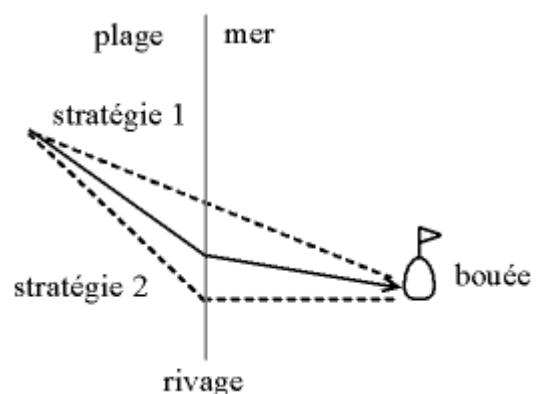
Un athlète doit partir de la plage et rejoindre une bouée dans l'eau. Il essaie deux stratégies :

(1) aller en ligne droite, (2) courir à l'aplomb de la bouée, et nager perpendiculairement au rivage.

C'est la stratégie 2 qui est la plus rapide, car il nage plus lentement qu'il ne court. Mais la stratégie optimale consiste à suivre la loi de Snell-Descartes (trajectoire en trait plein).

La trajectoire la plus rapide est telle que :

$$(1/v_1)\sin \theta_1 = (1/v_2)\sin \theta_2.$$



[Simulation avec outils suppl.](#) (mesurer vitesses)

Les fronts d'ondes lumineuses se comportent comme les rangées d'une fanfare qui change de pas en marchant dans un champ. <http://cdn.phys.org/newman/gfx/news/hires/2013/antsfermatsprincipe1.jpg>

Une conséquence du Principe de Fermat est la loi du retour inverse de la lumière. C.à.d. si on inverse le sens de propagation de la lumière elle suit le même chemin. « Je vois l'œil de qui voit mon œil ».

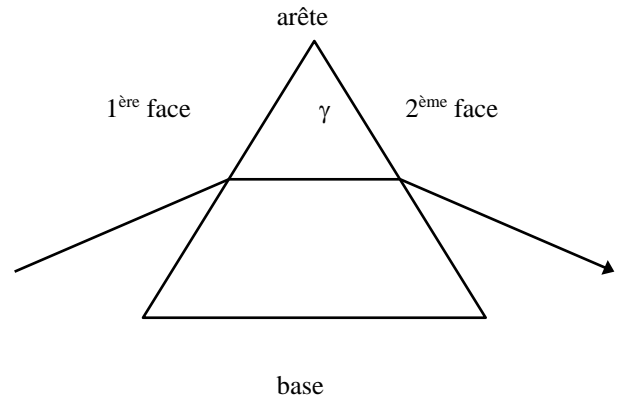
Notations :

Angles :	Indices	Célérités
$\alpha, \beta, i_1, i_2, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \theta, \dots$	n, n_1, n_2	c, c_0 (vide), c_1, c_2, v

2.5 Prisme optique

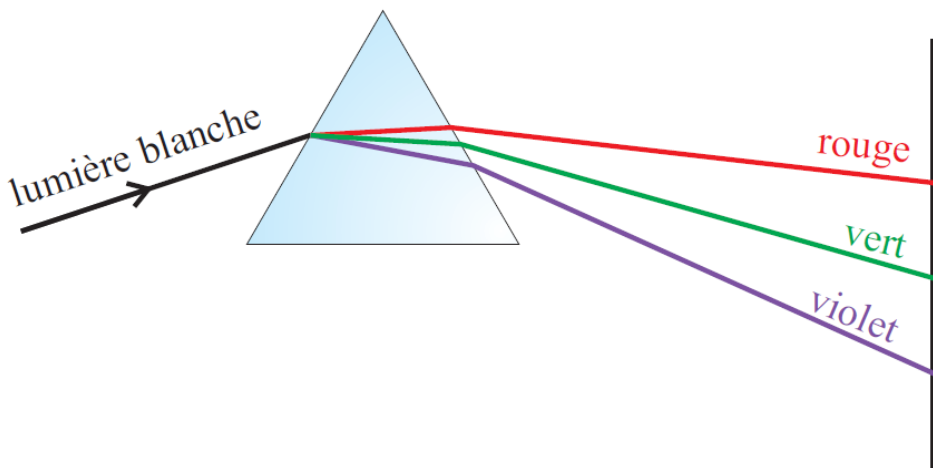
Un prisme optique est un corps transparent dont les deux faces planes sont inclinées l'une par rapport à l'autre.

Au passage du prisme les rayons lumineux sont réfractés sur chacune des deux faces (la base ne joue pas de rôle). On obtient ainsi une déviation importante du faisceau lumineux vers la base du prisme. Cette déviation augmente avec l'angle γ à l'arête.



Puisque l'indice de réfraction dépend de la couleur de la lumière on observe une décomposition de la lumière blanche dans les couleurs spectrales: violet (le plus dévié) - bleu - vert - jaune - orange - rouge (le moins dévié).

La lumière blanche est un mélange de toutes les couleurs (spectre). Si on la fait traverser un prisme en s'assurant d'une mise au point nette, on observe une bande colorée appelée spectre. La séparation ou décomposition de la lumière par un prisme est appelée **dispersion de la lumière**.



Applet : http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/prisme/prisme.html

et [Simulation avec Prisme](#) et mise au point nette avec lentille en demi cylindre.

Formules du passage : Etablir les angles successifs : $\alpha_1 \Rightarrow \beta_1 \Rightarrow \beta_2 \Rightarrow \alpha_2 \Rightarrow$ déviation δ en résolvons l'exercice 10.

Le passage symétrique $\alpha_1 = \alpha_2$ et $\beta_1 = \beta_2$ donne une déviation δ minimale et on établit la relation qui permet de déterminer l'indice de réfraction d'un prisme (TP Prisme) :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{min} + \gamma}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)}$$