I La lumière

1.) La nature ondulatoire de la lumière

La lumière est une onde électromagnétique.
- Elle se propage dans toutes les directions de l'espace.
- Elle peut se propager dans le vide, mais également dans les milieux transparents.
- Elle transporte de l'énergie lumineuse. ($\vec{E}$ champ électrique, $\vec{B}$ magnétique) -> possède

Une onde électromagnétique sinusoïdale est caractérisée par sa période T ou sa fréquence $f = \frac{1}{T}$ -> s indépendante du milieu traversé. Hz

Sa vitesse de propagation v est caractéristique du milieu traversé.

Longueur d'onde : $\lambda = vT = \frac{v}{f}$ (m) où λ est la distance parcourue pendant une période.

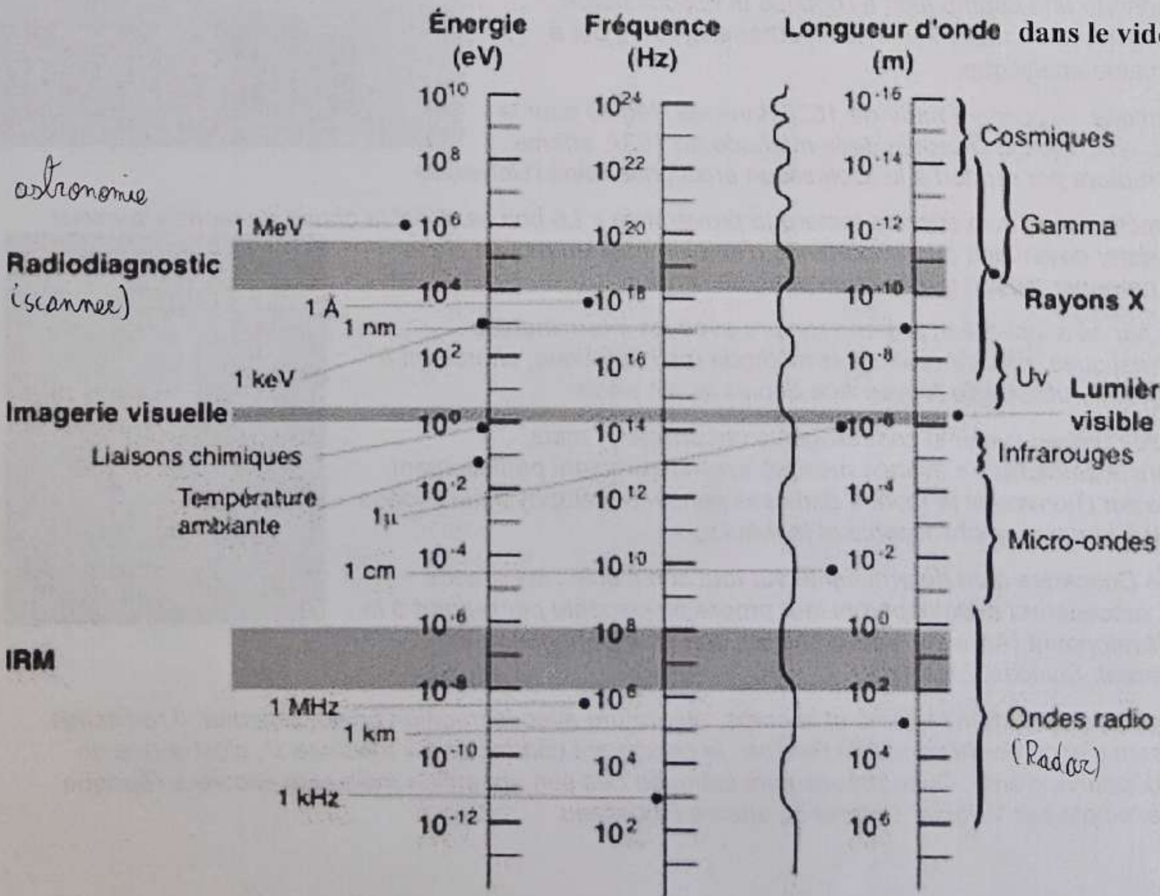
Longueur d'onde dans le vide : $\lambda_0 = cT = \frac{c}{f}$ où ($c = 3.10^8$ m.s^{-1}) est la vitesse de la lumière dans le vide.

Indice optique du milieu : $n = \frac{c}{v}$ n > 1 car c > v n dépend de la température, la pression, la fréquence.

Remarque : $n = \frac{c}{v} = \frac{cT}{vT} = \frac{\lambda_0}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n}$ $\lambda < \lambda_0$

Une lumière monochromatique, de fréquence f, est constituée de photons, de masse nulle, d'énergie $E = hf$, se déplaçant à la vitesse de la lumière c, dans la direction de l'onde lumineuse.
($h = 6{,}63.10^{-34}$ J.s) est la constante de Planck. 1 eV (électron Volt) = 1,6 10^{-19} J (énergie)

Voir l'animation : https://toutestquantique.fr/dualite/



Ultraviolets

$\lambda_0 < 400$nm

Visible

400nm < λ_0 < 700nm

Violet 420 nm

Bleu 470 nm

Vert 530 nm

Jaune 580 nm

Rouge 640 nm

Infrarouges

$\lambda_0 > 700$nm

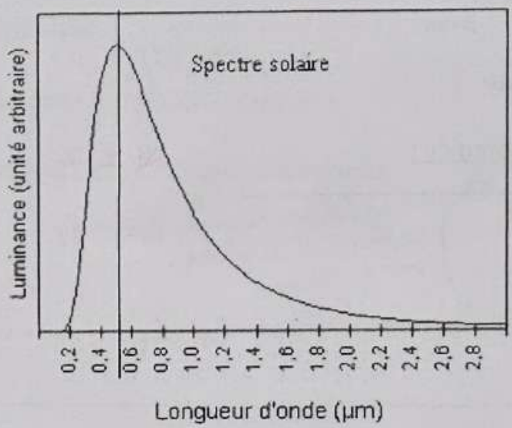
2.) Sources lumineuses

Elles sont caractérisées par leur spectre.

a) Lumière blanche

Elle possède un spectre continu, basé sur le principe du rayonnement du corps noir valable pour tous les corps portés à incandescence : Un corps noir, dont la température est Θ, émet un rayonnement électromagnétique comprenant toutes les longueurs d'onde.

(Loi de Wien : $\lambda_{max} * \Theta$ =Constante)



Pour le soleil, le maximum est dans le jaune, ce qui correspond au maximum de sensibilité de l'œil.

b) Lampes spectrales

Sodium (orangée) ou Mercure (bleue)

La lumière est émise suite à une décharge électrique entre deux électrodes dans un gaz ou une vapeur métallique. La désexcitation des atomes donne un spectre de raies (ou de bandes pour les molécules).

L'énergie des atomes est quantifiée, elle ne peut prendre que certaines valeurs. * * *

(Pour l'hydrogène, les niveaux d'énergie sont donnés par la formule $\boxed{E_m = -\frac{13,6eV}{m^2}}$ $m \in \mathbb{N}^*$)

Pour émettre un photon de fréquence f, l'atome initialement excité perd de l'énergie.
Il passe de l'énergie E_p à $E_m < E_p$ où $p \in \mathbb{N}^*$. L'énergie du photon émise est donnée par $E_{photon} = h.f = \frac{hc}{\lambda_0} = E_p - E_m$

L'atome peut également absorber un photon, dont l'énergie est donnée par la même formule.

Emission spontanée : (= desexcitation de l'atome)

E_p
Emission d'un photon
$E_{photon} = hf = E_p - E_m$
$E_m < E_p$

Absorption d'un photon : (= excitation de l'atome)

E_p
$E_{photon} = hf = E_p - E_m$
$E_m < E_p$

Rq :
$\lambda_0 = cT$ dans le vide
$T = \frac{1}{f} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{c}{f} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda_0}$

$E_{photon} = hf = \frac{hc}{\lambda_0}$

c) L.A.S.E.R Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Laser Hélium-Néon $\lambda = 632{,}8$ nm. Rouge On n'obtient qu'une seule raie

Principe de l'émission stimulée : Les différents atomes de la source se désexcitent de façon synchronisée : la source est dite cohérente. Les fréquences des ondes composant la lumière LASER sont très proches.

Voir l'animation : https://toutestquantique.fr/laser/

Deux intérêts : Un faisceau quasi-parallèle et de faible section, et une longueur d'onde fixée avec précision

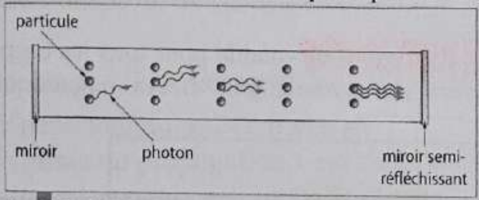
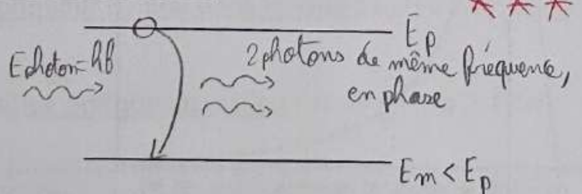


Fig. 1 Cavité laser.

Emission stimulée :



II L'optique géométrique

1.) La diffraction

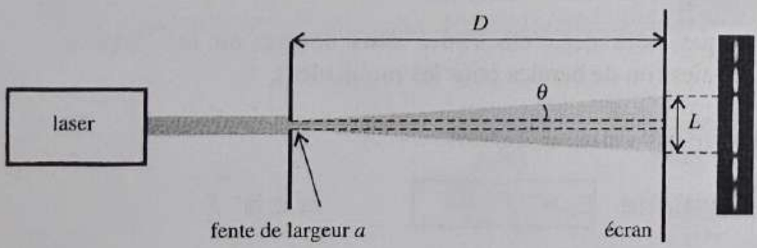
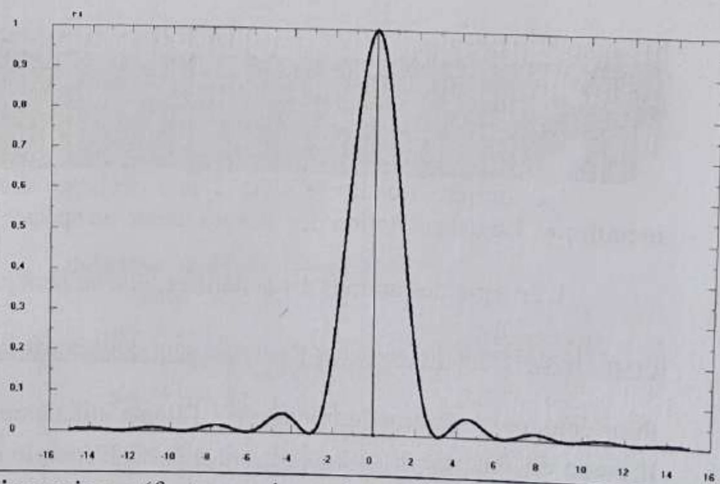


Figure 4.8 – Diffraction d'un faisceau laser par une fente fine.



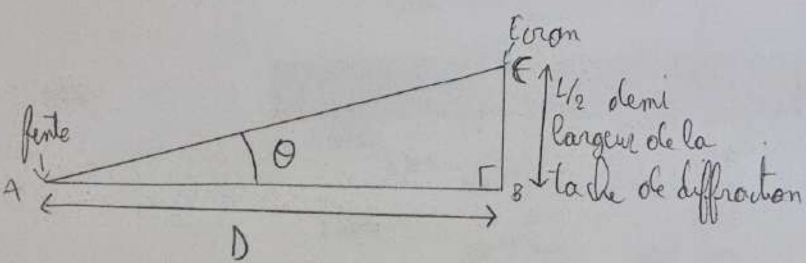
Lorsqu'une onde rencontre un obstacle de petite dimension a (fente ou cheveu), sa direction de propagation est modifiée. A l'infini, $\sin\theta \approx \frac{\lambda}{a}$ (pour a << D)

Le phénomène est observable si λ et a sont du même ordre de grandeur.

http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optiondu/fentevert.html

Expérimentalement, il faut $\lambda < a < 100\lambda$.

Géométriquement : $\tan\theta = \frac{L/2}{D}$ Si l'angle θ est petit : $\boxed{\tan\theta \approx \sin\theta \approx \theta \text{ en radian}}$



$$\tan\theta = \frac{BC}{AB} = \frac{L/2}{D}$$

X

$$\Rightarrow L = 2D\tan\theta = 2D\sin\theta = \frac{2D\lambda}{a}$$

2.) L'optique géométrique

Définition : L'optique géométrique est l'étude de la propagation de la lumière dans des milieux pour lesquels les variations des propriétés physiques (par exemple l'indice ou la masse volumique) sont négligeables sur une distance de l'ordre de la longueur d'onde.

On appelle rayon lumineux la trajectoire de propagation de l'énergie lumineuse.

Définitions :

Milieu transparent : N'absorbe pas l'énergie lumineuse.

Milieu homogène (≠ inhomogène): milieu ayant même propriété en tout point.

Exemple de milieu homogène: n ne dépend pas du point considéré.

Milieu isotrope (≠ anisotrope): milieu ayant même propriété dans toutes les directions.

Exemple de milieu isotrope : n ne dépend pas du sens de propagation des rayons lumineux.

Modèle de la source ponctuelle monochromatique
Source ponctuelle = un point lumineux
Monochromatique = une seule longueur d'onde

Principes de l'optique géométrique ****

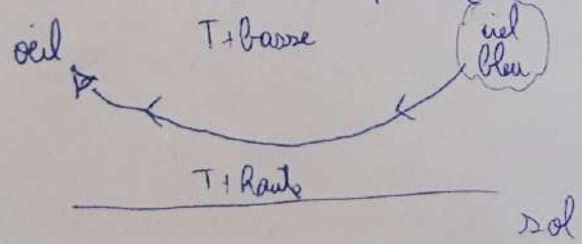
1. Principe de propagation rectiligne de la lumière

Dans un milieu transparent, homogène et isotrope, la lumière se propage en ligne droite. Les rayons lumineux sont des droites.

Si le milieu n'est pas homogène :

Phénomène du mirage

$n(T)$ T non uniforme => n pas uniforme => courbure des rayons lumineux



***

Si $T \searrow$, $n \nearrow$

2. Principe d'indépendance des rayons lumineux

Un faisceau lumineux est constitué de rayons lumineux dont on pourra étudier le trajet indépendamment les uns des autres.

3. Principe du retour inverse

Dans un milieu transparent et isotrope (homogène ou non), le trajet de la lumière est indépendant du sens de parcours.

Dans toute la suite du cours, les milieux sont supposés homogènes et isotropes

III Lois de Snell-Descartes

On utilise des angles non orientés.

1.) Enoncé

A la surface de séparation de deux milieux d'indice différent, un rayon incident RI donne généralement naissance à deux rayons lumineux, un rayon réfléchi RR et un rayon transmis RT (ou réfracté) qui sont dans le plan d'incidence.

Lois de la réflexion : l'angle de la réflexion est égal à l'angle d'incidence : $i'_1 = i_1$

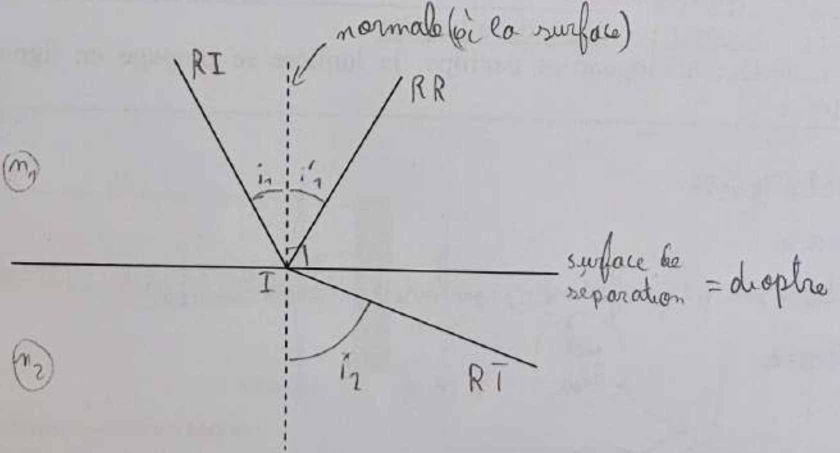
Lois de la réfraction : l'angle de la réfraction vérifie : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/dioptres/dioptre_plan.php

Dioptre : Surface de séparation de deux milieux transparents.
Plan d'incidence : Plan contenant le rayon incident et la normale à la surface de séparation.
Point d'incidence I : Intersection du rayon incident et de la surface de séparation.

Si les milieux sont homogènes :

RI -> Rayon Incident
RR -> Rayon Reflechis
RT -> Rayon refracté



Plan d'incidence

Remarques :

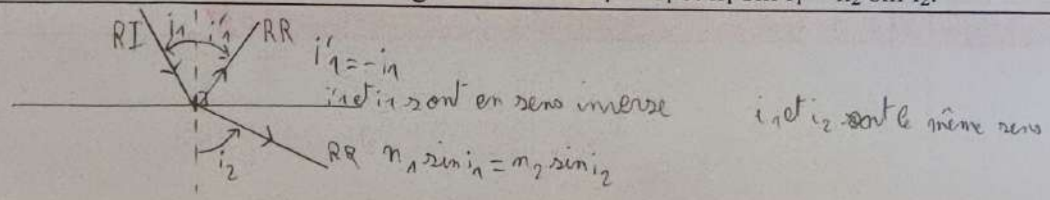
1) Les lois de Descartes vérifient le principe du retour inverse de la lumière : elles sont inchangées si on intervertit rayons incident et réfléchi, rayons incident et transmis.

2) On peut déterminer expérimentalement le rapport de deux indices : $\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{2/1}$

Par convention, l'indice du vide vaut 1. L'indice de l'air est très proche de 1.
L'indice du verre est compris entre 1,5 et 1,9. L'indice de l'eau vaut 1,34.

Le milieu 2 est dit plus réfringent que le milieu 1 si $n_2 > n_1$.

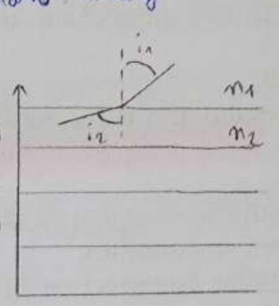
3) Lois de Descartes avec des angles orientés : $i'_1 = -i_1$ et $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.



2.) Existence d'un rayon réfracté. Réflexion totale. ****

Le rayon lumineux est plus proche de la normale dans le milieu le plus réfringent (= d'indice plus grand).

Rq important : mirage



Démo : Loi de Descartes pour la réfraction

$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

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

$i_1, i_2 \in [0; \frac{\pi}{2}]$

1er cas : $n_2 > n_1 \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} < 1$ ***

$\Rightarrow \sin i_2 < \sin i_1$

sinus est croissante sur $[0; \frac{\pi}{2}]$

$\Rightarrow i_2 < i_1$

Quand i_1 augmente, i_2 augmente également mais en restant inférieur

Si $i_1 = \frac{\pi}{2}$ $\sin i_1 = 1$

$\Rightarrow \sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} < 1$

i_2 existe toujours

Il existe toujours un rayon refracté

2e cas : $n_2 < n_1 \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} > 1$

$\Rightarrow \sin i_2 > \sin i_1$

sinus est croissante sur $[0, \frac{\pi}{2}]$

$\Rightarrow i_2 > i_1$

Quand i_1 augmente, i_2 augmente également en restant supérieur

Si $i_2 = \frac{\pi}{2}$ $\sin i_2 = 1$

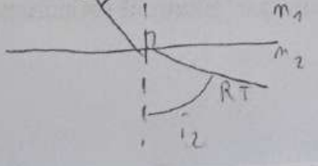
$\Rightarrow \sin i_{1l} = \frac{n_2}{n_1} < 1$

donc i_1 existe

Si $i_1 > i_{1l}$, le rayon réfracté n'existe plus : c'est le phénomène de reflexion totale. Le dioptre se comporte comme un miroir

Rq : Il y a toujours un rayon reflechi

2e cas



IV Le miroir plan

1.) Définitions * *

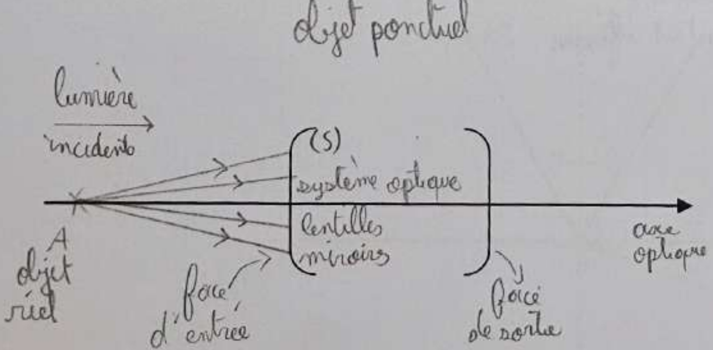
Système optique (S): Constitué d'une suite de milieux homogènes transparents limités par des dioptres ou des miroirs.

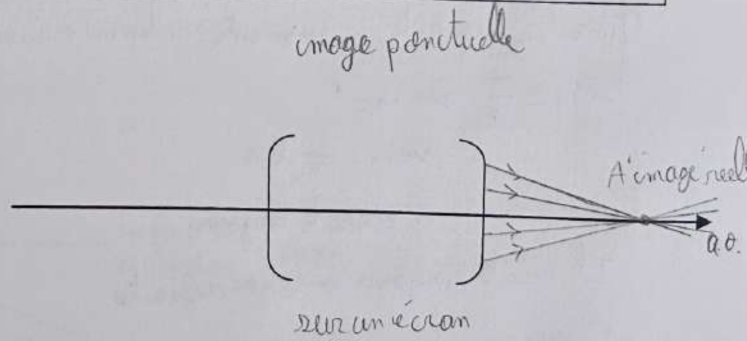
Système centré : Les dioptres et les miroirs qui le composent ont une symétrie de révolution autour d'un axe appelé axe optique. L'axe optique est orienté dans le sens de propagation de la lumière incidente.

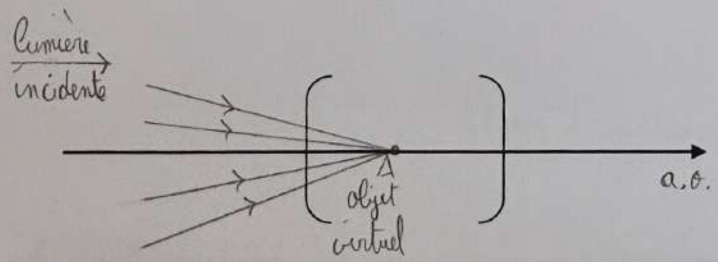
Objet ponctuel: Point d'intersection du faisceau incident (qui arrive sur (S)), soit des rayons eux-mêmes, soit de leur prolongement en pointillés.
Image ponctuelle: Point d'intersection du faisceau émergent (qui ressort de (S)).
Objet ou image réels : Intersection des rayons lumineux.
Objet ou image virtuels : Intersection du prolongement (en pointillé) des rayons lumineux.
https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/lentilles/lentille_mince.php

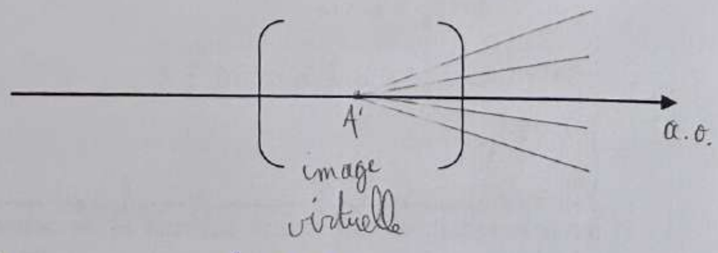
Faisceau parallèle : Tous les rayons lumineux sont parallèles. Le point objet est à l'infini pour un faisceau incident. Le point image est à l'infini pour un faisceau émergent.
Faisceau divergent : Tous les rayons lumineux sont issus du même point A.
Faisceau convergent : Tous les rayons lumineux se dirigent vers le même point A.

Objet réel : Source lumineuse placée en A (ou objet éclairé). A est à l'origine d'un faisceau incident divergent (qui arrive sur la face d'entrée de S).

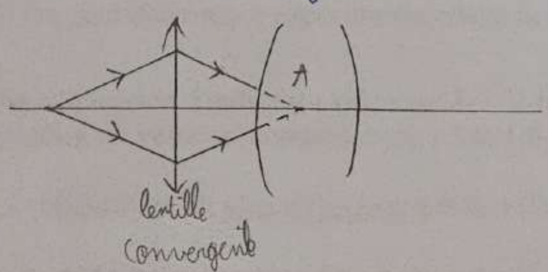




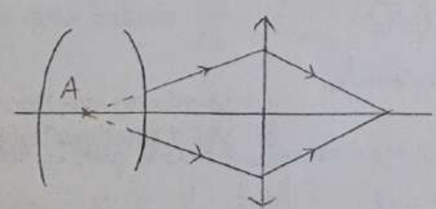




Rq: Pour créer un objet virtuel



Pour observer une image virtuelle



Miroir : Surface totalement réfléchissante. Pour tout rayon incident, il n'y a pas de rayon transmis.
Miroir plan : Surface plane parfaitement réfléchissante.

2.) Image d'un objet ponctuel

Hypothèses : On dispose au point A d'une source lumineuse (objet réel, par exemple une flamme d'une bougie) envoyant un faisceau sur le miroir.

https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/miroirs/miroir_plan.php

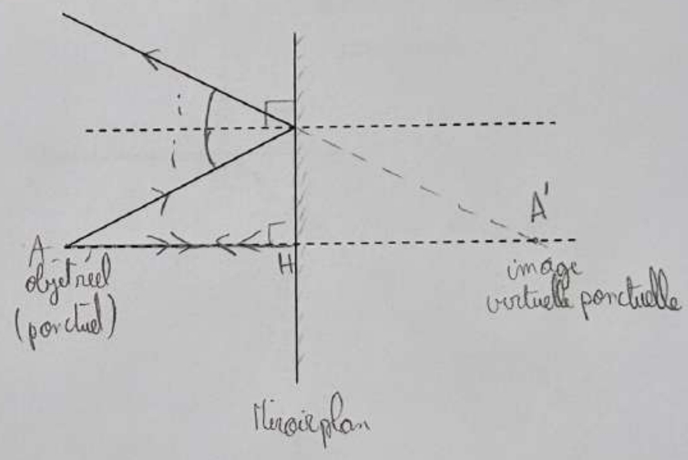
Résultats expérimentaux : Le miroir plan permet d'obtenir une image (parfaite, c'est à dire nette) virtuelle (= qu'on ne peut pas projeter sur un écran, mais que l'œil voit) d'un objet réel.

Démonstration : A', image de A, est à l'intersection de tous les rayons lumineux provenant de A après réflexion. L'image est virtuelle : A' est à l'origine d'un faisceau émergent divergent (A' est à l'intersection du prolongement en pointillé des RL émergents).

Demo : $\tan i = \frac{HI}{AH} = \frac{HI}{A'H} \Rightarrow \boxed{AH = A'H} \ \forall i$

A' est symétrique de A par rapport au miroir plan

Tout rayon lumineux incident passant par A, aura son prolongement qui passe par A'



Définition : Un système optique est dit rigoureusement stigmatique pour le couple de points (A, A') si tout rayon lumineux incident passant par A passe par A' après avoir traversé (S).

A' est l'image de A à travers (S) : $A \xrightarrow{(S)} A'$

A est aussi l'image de A' à travers (S) d'après le principe du retour inverse de la lumière.

On dit que A et A' sont conjugués. La relation mathématique donnant la position de A' à partir de celle de A s'appelle relation de conjugaison.

Le miroir est rigoureusement stigmatique pour tout point de l'espace.

$A \xrightarrow{(MP)} A'$ Relation de conjugaison : $\overline{AH} = \overline{HA'}$

conjugaison relation de conjugaison

Valeurs algébriques

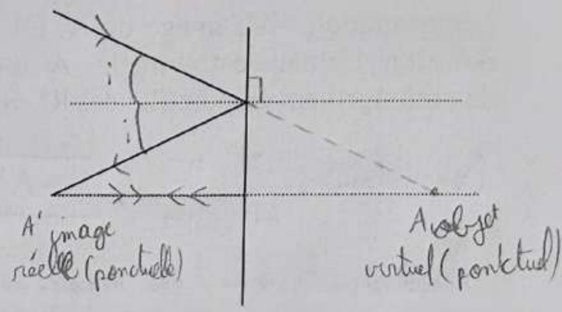
distance affectées d'un signe : >0 dans le sens de la lumière
<0 sinon

$\Rightarrow \begin{cases} \overline{AH} > 0 \\ \overline{HA'} > 0 \end{cases}$

$\Rightarrow \overline{AH} = \overline{HA'}$

Remarque : Si A est un objet virtuel, alors A' est image réelle, d'après le principe du retour inverse de la lumière.
- objet virtuel : A est le point de convergence d'un faisceau incident convergent (A est à l'intersection du prolongement en pointillés des RL incidents).

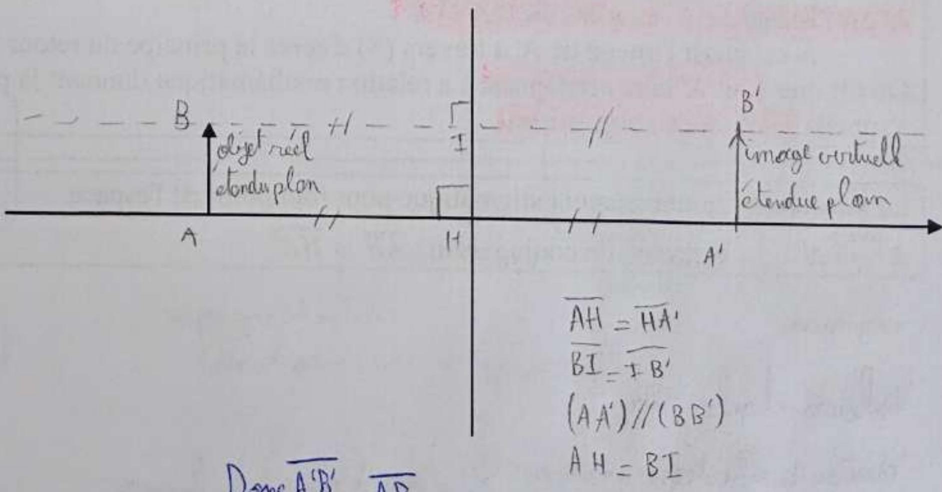
- image réelle : A' est le point de convergence du faisceau émergent convergent, issu de (S).



3.) Image d'un objet étendu

- Le miroir plan réalise le stigmatisme rigoureux pour tout point de l'espace.
- L'image d'un point est symétrique de l'objet par rapport au plan du miroir.

Donc, pour tout objet étendu plan et perpendiculaire à l'axe, son image est plane et perpendiculaire à l'axe.



Donc $\overline{A'B'} = \overline{AB}$

A'B' est symétrique de AB (p/r miroir plan)

Grandissement linéaire : $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ Pour le miroir plan : $\gamma = 1$

gamma

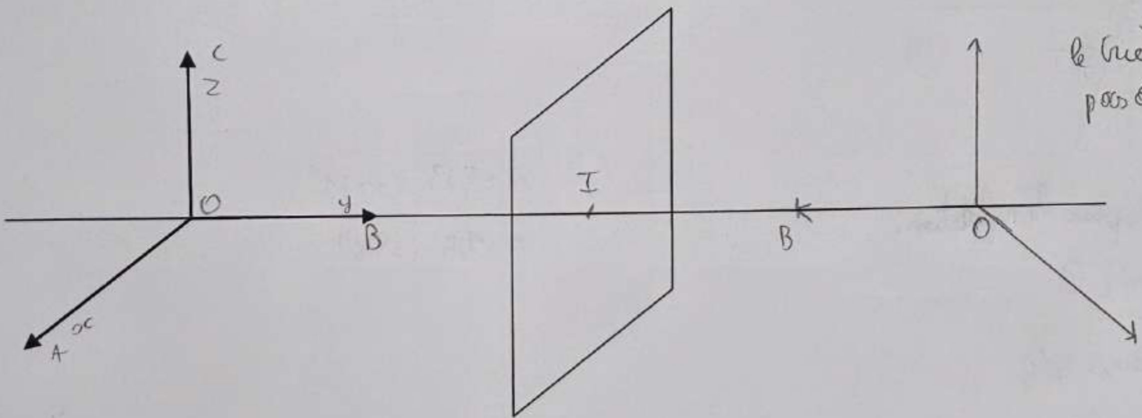
***

<u>Définition:</u> Un système optique est rigoureusement aplanétique si pour tout objet AB (où A appartient à l'axe optique) plan et perpendiculaire à l'axe optique, son image A'B' est plane et perpendiculaire à l'axe optique et si le système est rigoureusement stigmatique pour les couples (A, A') et (B, B').

Un plan perpendiculaire à l'axe optique en A est appelé plan de front de A.

Remarques : 1) Le miroir plan est le seul système optique à être rigoureusement stigmatique et aplanétique pour tout point de l'espace.

2) L'image n'est pas superposable à l'objet.



le trièdre image est pas directe

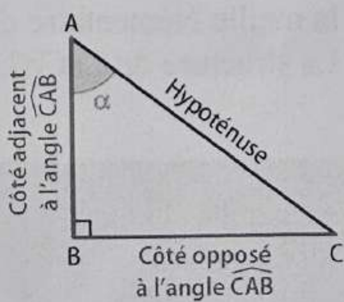
V Applications : *****

1.) Rappel : Relations dans un triangle rectangle :

$\cos(\alpha) = \frac{AB}{AC}$

$\sin(\alpha) = \frac{BC}{AC}$

$\tan(\alpha) = \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \frac{BC}{AB}$



Si l'angle est petit : $\tan(\alpha) \approx \sin(\alpha) \approx \alpha$ en radian

1'= (1/60)°; 1''= (1/60)'; 180°= π rad

minute seconde

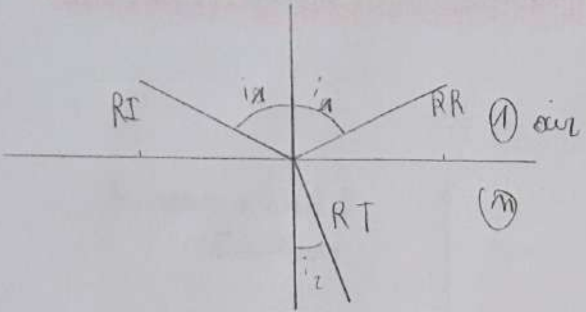
2.) Méthode

Méthode de résolution d'un exercice d'optique :
- faire un schéma qui explique la situation décrite dans l'énoncé ou une construction géométrique ;
- écrire les conjugaisons et les relations de conjugaison, ou les lois de Descartes ;
- en déduire une formule littérale donnant le résultat ;
- faire éventuellement l'application numérique.

3.) Exemple : Incidence de Brewster i_B

Un rayon lumineux arrive à l'interface plane séparant l'air d'un milieu d'indice n. Il se scinde en un rayon réfléchi et un rayon réfracté.

Trouver l'angle d'incidence i_B pour lequel ces deux rayons sont perpendiculaires entre eux. Faire l'application numérique dans le cas de l'eau d'indice n = 1,33 puis d'un verre d'indice n = 1,5.



On veut $i_B + i_2 = 90° = \frac{\pi}{2}$ AN : pour l'eau : $i_B = 53°$
pour le verre : $i_B = 56°$

Lois de Descartes pour la réfraction :

$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$ (1)

$i_1 + \frac{\pi}{2} + i_2 = \pi$ pour $i_1 = i_B$ (2)

D'où : (2) $i_B + i_2 = \frac{\pi}{2} \Rightarrow i_2 = \frac{\pi}{2} - i_B$

(1) $\sin i_B = n \sin i_2 \Rightarrow \sin i_B = \sin\left(\frac{\pi}{2} - i_B\right)$

$\Rightarrow \sin i_B = n \cos(i_B)$

$\Rightarrow \tan i_B = n$

$\Rightarrow i_B = \tan^{-1}(n)$

$\Rightarrow i_B = \arctan(n)$

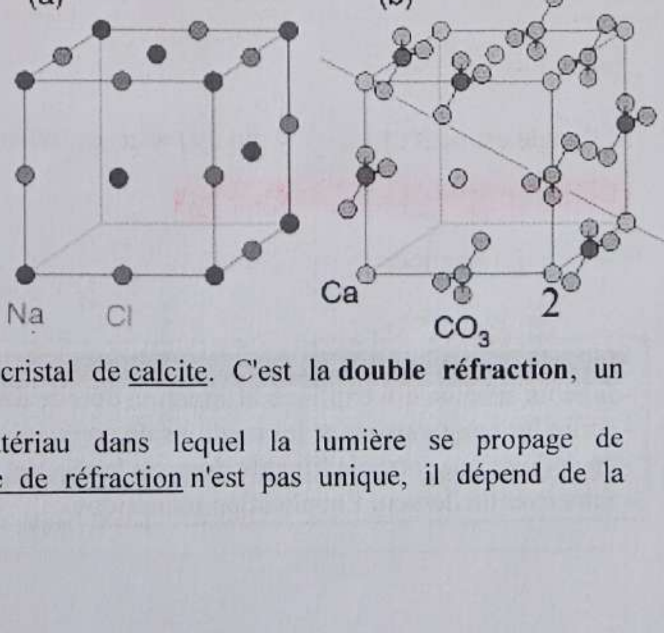
A.N. : $n = 1,33$ $i = 53,1°$

$n = 1,5$ $i = 56°$

Annexe : milieu homogène anisotrope (Hors programme)

(a) La maille élémentaire de NaCl est cubique. La structure de NaCl ne présente pas d'anisotropie optique.

(b) la maille élémentaire de la calcite CaCo3 est rhomboédrique. La structure de CaCo3 représente l'anisotropie optique



Le texte apparait en double après avoir traversé le cristal de calcite. C'est la **double réfraction**, un phénomène caractéristique des milieux biréfringents.

La **biréfringence** est la propriété physique d'un matériau dans lequel la lumière se propage de façon anisotrope. Dans un milieu biréfringent, l'indice de réfraction n'est pas unique, il dépend de la direction de polarisation de l'onde lumineuse.