

I La lumière

1.) La nature ondulatoire de la lumière

La lumière est une **onde électromagnétique**, champ magnétique et champ électrique qui se propage
 - 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.

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

Sa vitesse de propagation v est caractéristique du milieu traversé.

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

Longueur d'onde dans le vide : $\lambda_0 = cT = \frac{c}{f}$ où $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ 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.
 sans unité

Remarque : $n = \frac{c}{v} = \frac{cT}{vT}$

$n = \frac{\lambda_0}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n}$ $n > 1 \Rightarrow \lambda < \lambda_0$

Une lumière monochromatique, de fréquence f , de longueur d'onde λ , 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 (avec une quantité de mouvement $p = \frac{E}{c}$).

$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ est la constante de Planck. $1 \text{ eV (électron Volt)} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

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

Spectroscopie astronomique

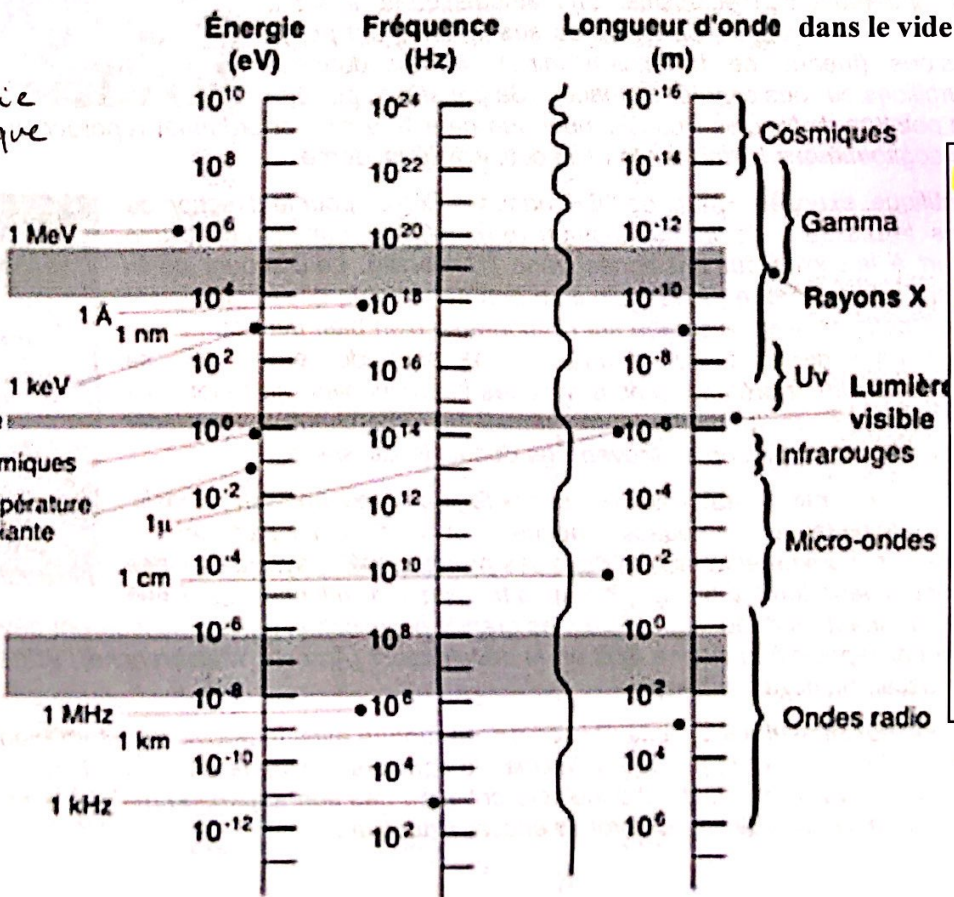
Radiodiagnostic
radiographie scanner

Imagerie visuelle

Liaisons chimiques
Température ambiante

IRM

Radar



Ultraviolets

Visible
 $400\text{nm} < \lambda < 700\text{nm}$
 Violet 420 nm
 Bleu 470 nm
 Vert 530 nm
 Jaune 580 nm
 Rouge 640 nm

Infrarouges

2.) Sources lumineuses *cf TP d'optique n°1*

Elles sont caractérisées par leur spectre.

a) Lumière blanche

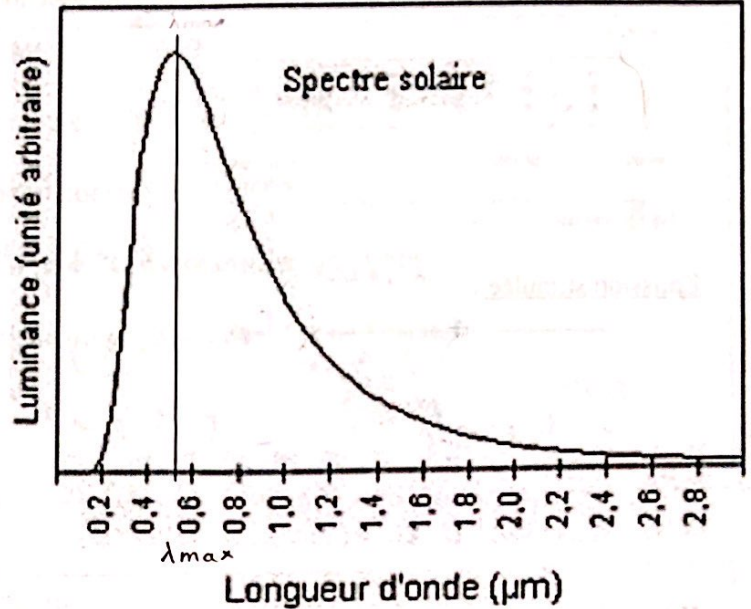
→ arc en ciel dans un prisme

* * Elle possède un spectre continu, basé sur le principe du rayonnement du corps noir valable pour tous les corps portés à incandescence :

Un corps absorbant dont la température est Θ , émet un rayonnement électromagnétique comprenant toutes les longueurs d'onde.

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

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)

Lumière émise par une décharge 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

$$E_m = \frac{13,6eV}{m^2}$$

$m \in \mathbb{N}^*$

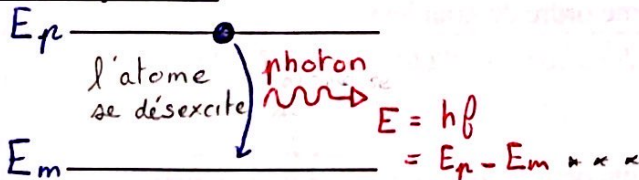
Pour émettre un photon de fréquence f , l'atome initialement excité perd de l'énergie.

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 $E_{\text{photon}} = h.f = \frac{hc}{\lambda} = E_p - E_m$ * * *

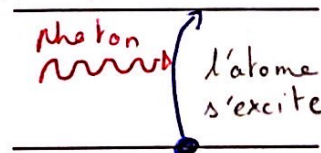
Remarque : Dans le vide $\lambda_0 = cT = \frac{c}{f} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda_0} \Rightarrow E = hf = \frac{hc}{\lambda_0}$

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

* * Emission spontanée :



Absorption d'un photon : * * *



niveaux d'énergie d'un atome

c) L.A.S.E.R Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
 Laser Hélium-Néon $\lambda = 632,8 \text{ nm}$. Rouge On n'obtient qu'une seule raie

Principe de l'émission stimulée : Les différents atomes de la source se désactivent 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

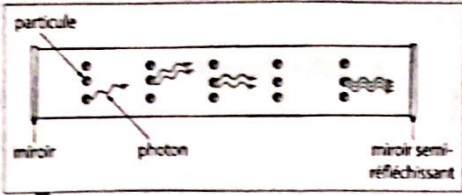
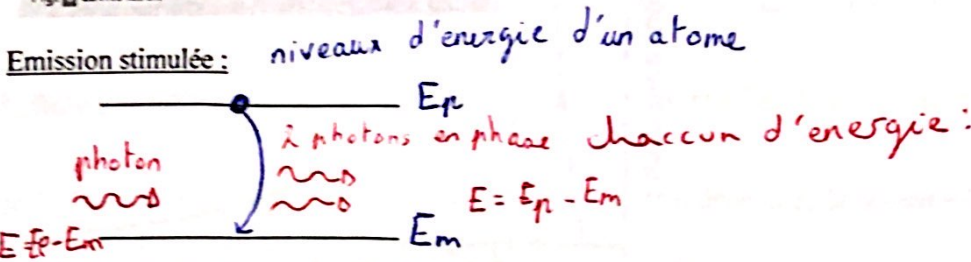


Fig. 1 Cavité laser.



II L'optique géométrique

1.) La diffraction

Rq: phénomène qui concerne la lumière "à éparpiller" + les types d'ondes : la lumière "à éparpiller" autour du trajet prévu. D par l'optique geo

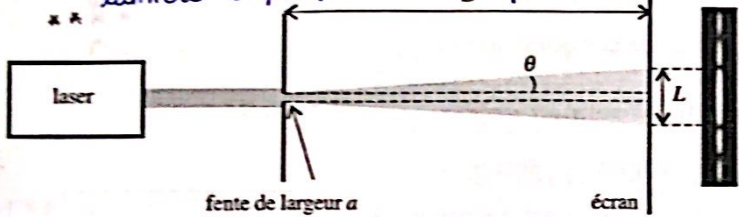
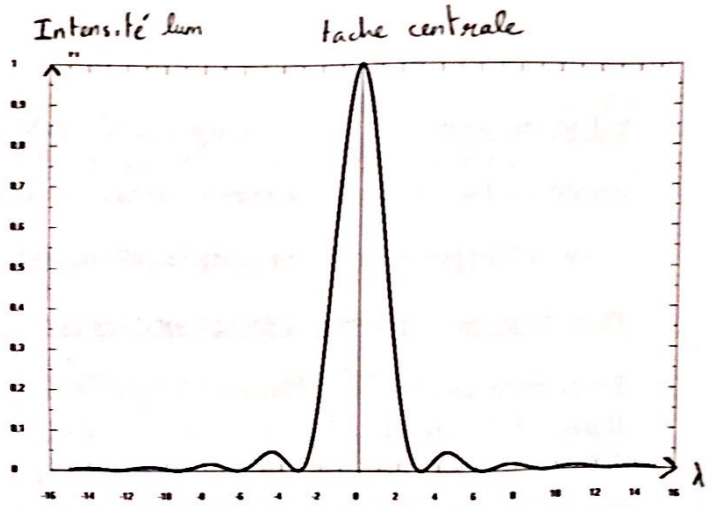


Figure 4.8 - Diffraction d'un faisceau laser par une fente fine.



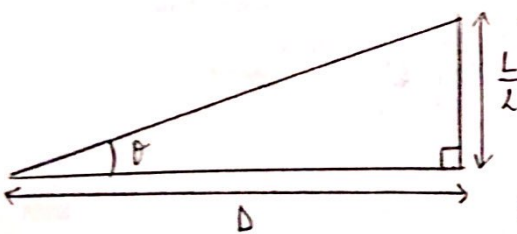
Lorsqu'une onde rencontre un obstacle de petite dimension a (fente ou cheveu), sa direction de propagation est modifiée. A l'infini, $\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$ (pour $a \ll D$) avec le schéma
 Le phénomène est observable si λ et a sont du même ordre de grandeur.

<http://ressources.univ-le Mans.fr/AccessLibre/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 : $\tan\theta \approx \sin\theta \approx \theta$ en radian



θ petit $\tan\theta \approx \theta \approx \frac{L}{2D}$ ①

$\sin\theta \approx \theta \approx \frac{\lambda}{a}$ ②

① = ② $\Rightarrow \frac{L}{2D} \approx \frac{\lambda}{a}$

$L \approx \frac{2D\lambda}{a}$ Largeur de la tache centrale pour $a \ll D$

$a \uparrow \quad L \downarrow$
 $\lambda \uparrow \quad L \uparrow$

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 (\neq inhomogène): milieu ayant même propriété en tout point.

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

Milieu isotrope (\neq 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

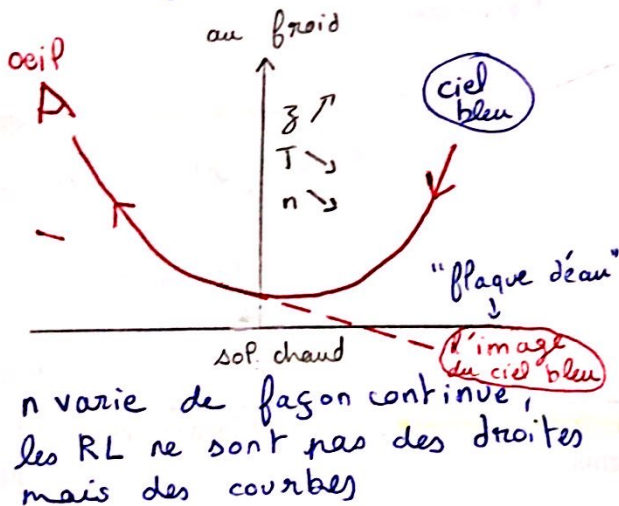
Principes de l'optique géométrique * * * *

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 :

ex: mirage dans un milieu inhomogène (n dépend de la température donc de l'altitude)



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, et tous positifs

1.) Énoncé

À 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 : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

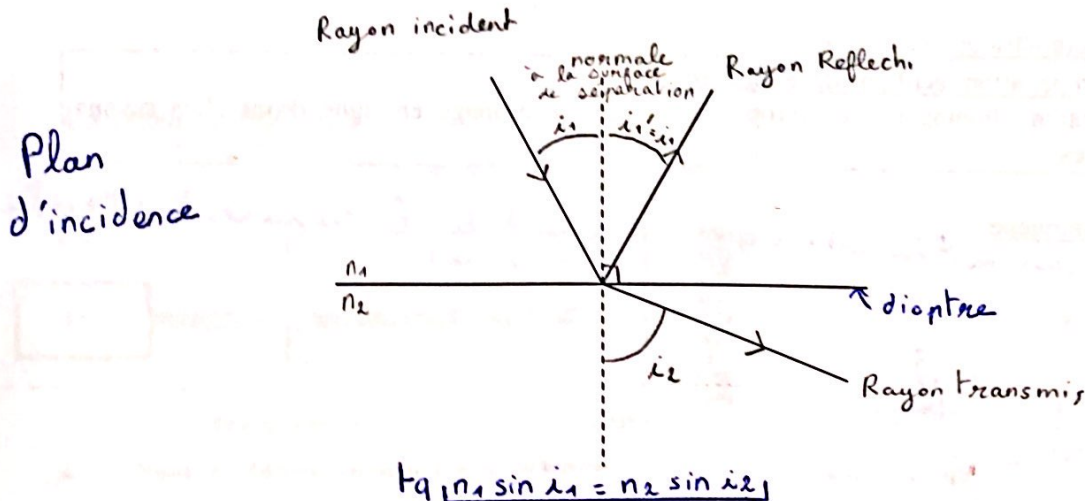
https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/dioptres/dioptre_plan.php

Dioptré : 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 : → Les RL en ligne droite



Remarques :

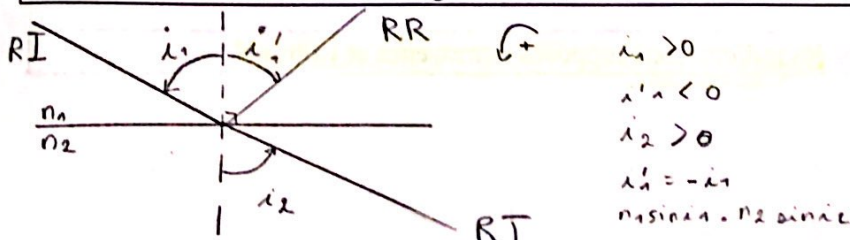
1) Les lois de Descartes vérifient le principe du retour inverse de la lumière : elles sont inchangées si on intervertit rayons incident et réfléchi, rayons incident et transmis.

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.

plus réfringent = d'indice \oplus grand

Demo Loi de Descartes pour la refraction

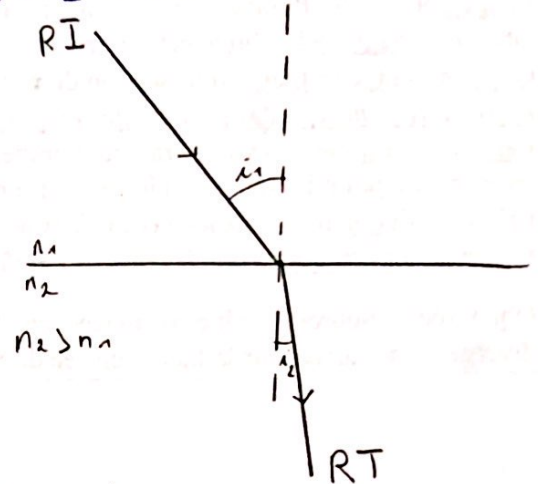
$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \Rightarrow \sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1 \quad (1)$$

$$i_1, i_2 \in [0, \pi/2]$$

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

(1) $\Rightarrow \sin i_2 < \sin i_1$
 sin est croissante sur $[0, \pi/2]$

$$\Rightarrow i_2 < i_1$$



quand $i_1 \uparrow, i_2 \uparrow$

Pour $i_1 = \frac{\pi}{2}, \sin i_1 = 1$
 $\ell =$ angle i_2 limite

$$\forall i_1, i_2 \leq i_{2\ell} \quad (1) \Rightarrow \sin i_{2\ell} = \frac{n_1}{n_2}$$

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

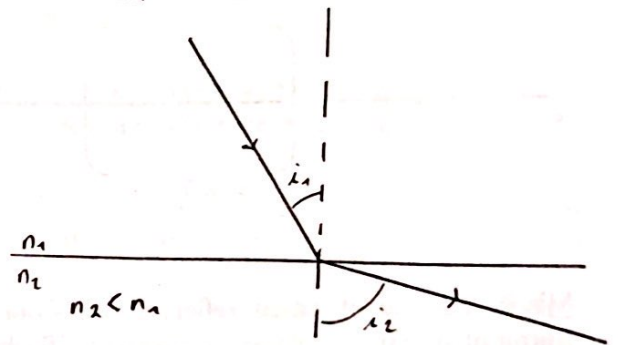
(1) $\sin i_2 > \sin i_1 \Rightarrow i_2 > i_1$

(1) $\sin i_1 = \frac{n_2}{n_1} \sin i_2$

Pour $i_2 = \frac{\pi}{2}$ $\sin i_{2\ell} = \frac{n_2}{n_1}$

$\forall i_2, i_1 \leq i_{1\ell}$

Pour $i_1 > i_{1\ell}$ il y a réflexion totale



quand $i_1 \uparrow, i_2 \uparrow$

Pour $i_2 = \frac{\pi}{2}, \sin i_2 = 1$

Le dioptre se comporte comme un miroir plan

Le RI est totalement réfléchi, il n'y a plus de rayons transmis

IV Le miroir plan

* * 1.) Définitions

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

Système centré : Les dioptrés 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.

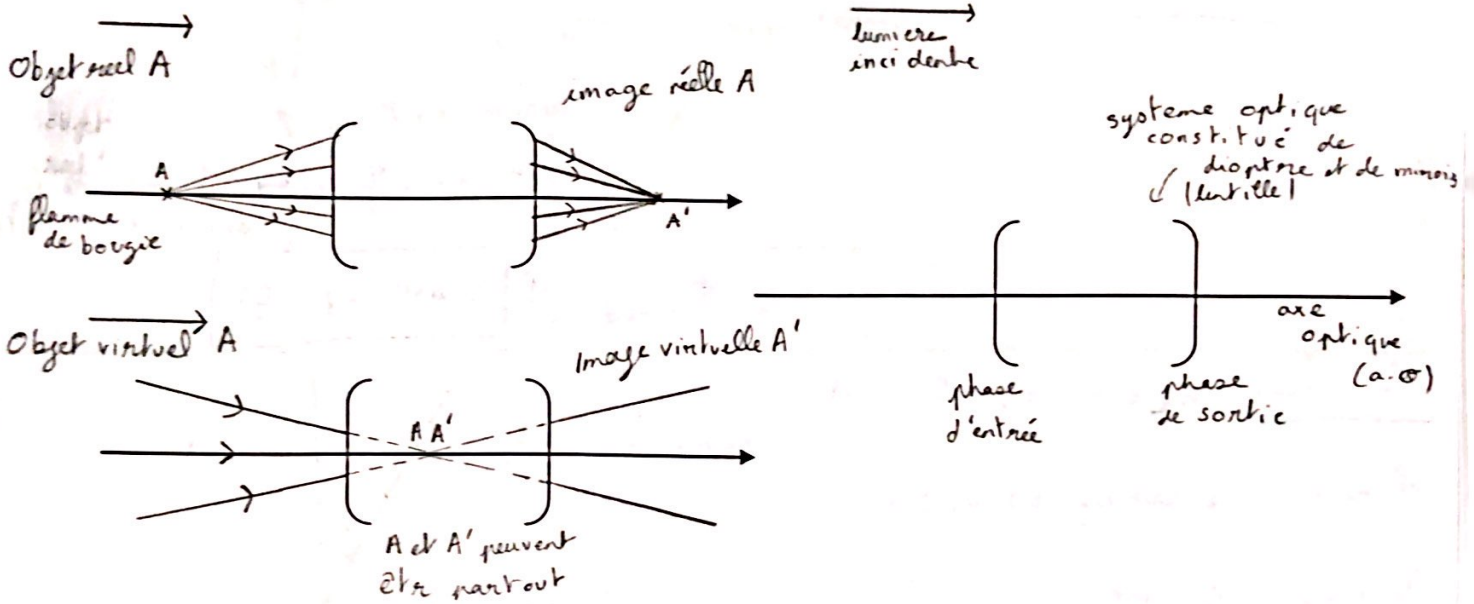
https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/lentilles/lentille_mince.php

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.

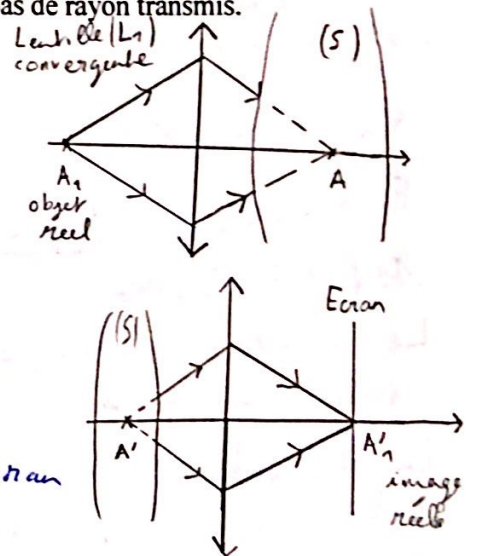
Objet réel : Source lumineuse placée en A (ou objet éclairé). A est à l'origine d'un faisceau incident divergent (qui arrive sur la face d'entrée de S).



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

Miroir plan : Surface plane parfaitement réfléchissante.

Rq: Pour créer un objet virtuel A pour (S)



- Pour observer ~~sur~~ une image virtuelle A'
- soit on place l'œil sur l'axe optique
- soit on forme l'image de A' sur l'écran

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

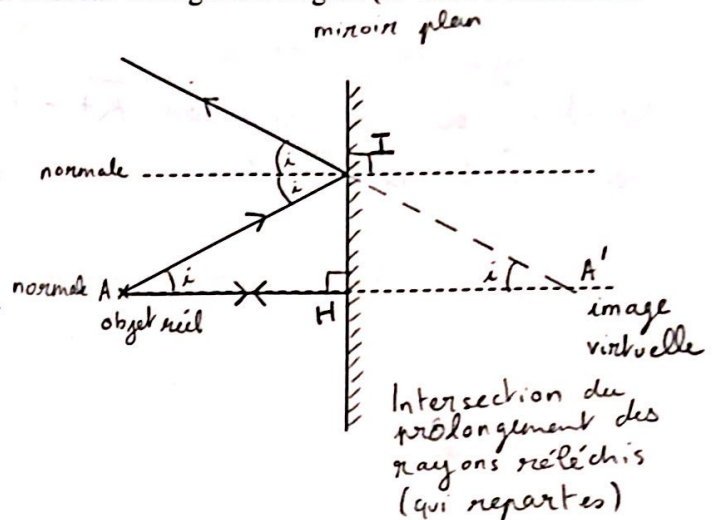
Résultats expérimentaux : Le miroir plan permet d'obtenir une image (parfaite, c'est à dire nette) virtuelle (= qu'on ne peut pas projeter sur un écran, mais que l'œil voit) d'un objet réel.

*** **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).

$$\tan i = \frac{HI}{AH} = \frac{HI}{A'H} \quad \forall i$$

$$\Rightarrow AH = A'H \quad \forall i$$

\Rightarrow A et A' sont symétriques par rapport au plan du miroir



*** **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 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.

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

On a montré que, $\forall i$, KL passant par A, passe par A' après réflexion et que A et A' sont symétriques par rapport à H

Valeur algébrique : distance affectée d'un signe

$$\overline{AH} > 0 \quad \overline{HA'} > 0$$

$$A \text{ et } A' \text{ sym / H} \Leftrightarrow \overline{AH} = \overline{HA'}$$

$$\left. \begin{array}{l} > 0 \text{ ds le sens de } a.o. \\ < 0 \text{ sinon} \end{array} \right\}$$

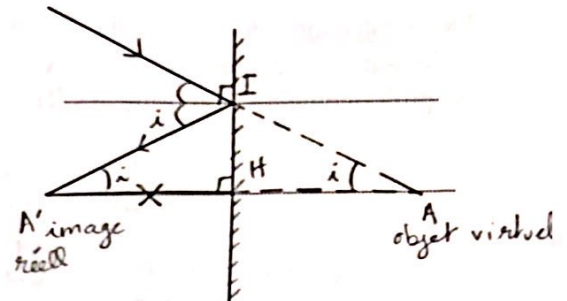
Remarque: Si A est un objet virtuel, alors A' est image réelle, d'après le principe du retour inverse de la lumière.

- 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).

La démo a été faite dans le cas d'un objet réel mais reste valable si l'objet est virtuel

Relation de conjugaison $\overline{AH} = \overline{HA'}$
ici, $\overline{AH} < 0$ et $\overline{HA'} < 0$



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.

\overline{AB} objet réel plan $\perp a_0$

$$\left. \begin{array}{l} A \xrightarrow{(MP)} A' \quad \overline{AH} = \overline{HA'} \\ B \xrightarrow{(MP)} B' \quad \overline{BI} = \overline{IB'} \end{array} \right\} \textcircled{1}$$

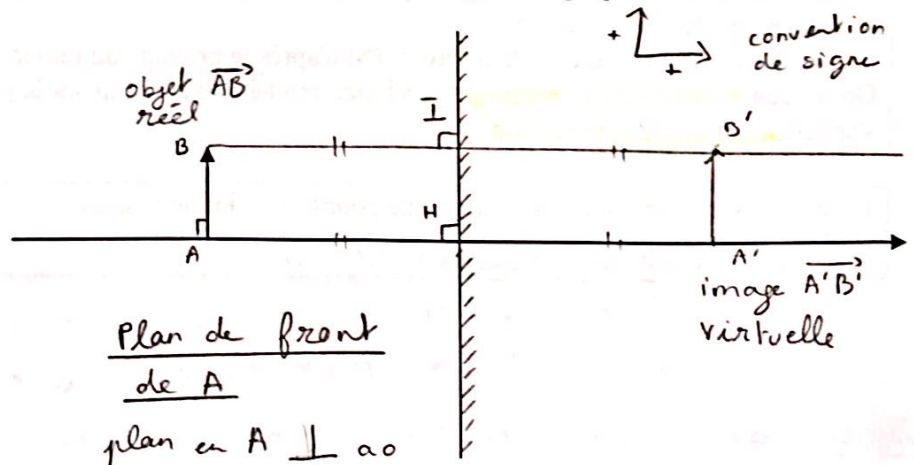
$(AA') \parallel (BB')$

$$\overline{AB} \perp (a_0) \Rightarrow \overline{AH} = \overline{BI}$$

$$\textcircled{2} \Rightarrow \overline{HA'} = \overline{IB'}$$

$\Rightarrow A'B'$ sym de AB / MP

$$\Rightarrow \underline{\overline{A'B'} = \overline{AB}}$$



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