

OPTIQUE GEOMETRIQUE (M. Le Borgne)

Optique = Étude des phénomènes lumineux

La lumière se propage dans le vide à la vitesse $c = 3 \cdot 10^8$ m/s et dans les milieux matériels transparents à une vitesse v caractéristique du milieu. En conséquence un milieu sera caractérisé par :

- son "indice absolu" n :

$$n = c/v$$

- son "indice relatif" par rapport à un autre milieu :

$$n_{1/2} = n_1/n_2$$

n_1 et n_2 sont les indices absolus des milieux en présence

I - HYPOTHESE FONDAMENTALE

1 - Principe de Fermat

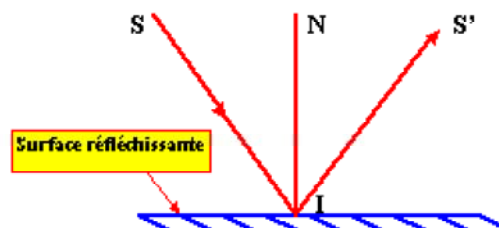
- Pour aller d'un point A à un point B , la lumière emprunte un chemin tel que le trajet AB soit de durée stationnaire.

2 - Conséquences

- propagation rectiligne de la lumière :
 - le **plus court chemin entre deux points est la ligne droite.**
- principe de retour inverse :
 - le **chemin suivi est indépendant du sens de parcours.**

On admettra l'indépendance des rayons lumineux

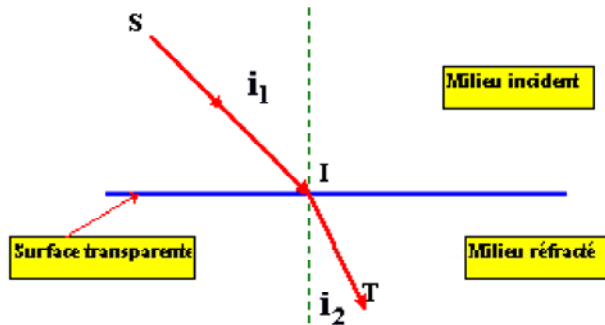
- lois de DESCARTES :
 - **pour la réflexion**



* Rayon incident SI et rayon réfléchi IS' sont dans un même plan

* $i = i'$

o pour la réfraction

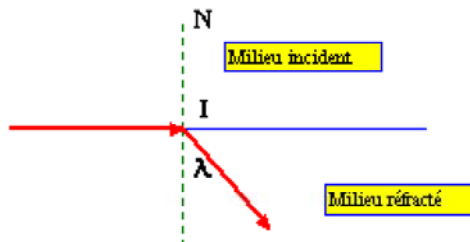


* Rayon incident SI et rayon transmis IT sont dans un même plan.

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

Remarques :

o $n_1 < n_2$,le second milieu est plus réfringent, le rayon lumineux **se rapproche de la normale**. Si l'angle d'incidence est égal a $\pi/2$, alors l'angle de réfraction correspondant est **l'angle de réfraction limite**.



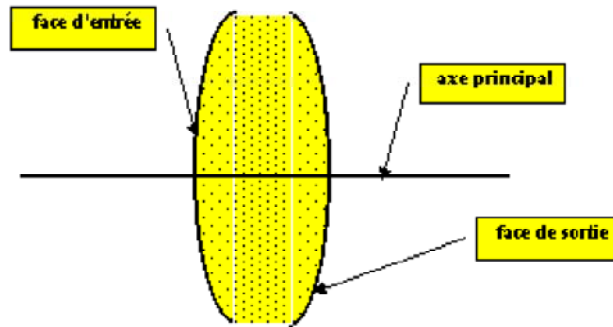
o principe de retour inverse : si le milieu incident est **plus réfringent** que le second milieu et **l'angle d'incidence supérieur** à l'angle de réfraction limite , le phénomène de **réflexion totale** se produit.

II - NOTION D'OBJET ET D'IMAGE

1 - Systèmes optiques

Ensemble de milieux transparents séparés par des surfaces planes ou sphériques

Généralités



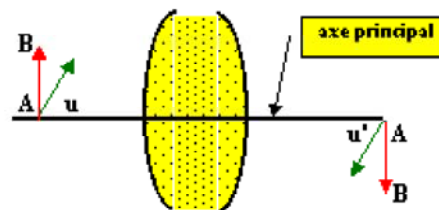
2 - Notion d'objet et d'image

- Un point A a pour image A' si tous les rayons lumineux issus de A concourent au point A' . Le système est alors **stigmatique**.
- Par convention **les rayons réels** représentent le chemin effectivement suivi par la lumière et **les rayons virtuels** le prolongement.

3 - Stigmatisme approché : Conditions de stigmatisme de Gauss

- Les conditions de stigmatisme sont rares ; les conditions de **stigmatisme approché** sont celles pour lesquelles l'image d'un point sera de dimension telle qu'elle puisse être **assimilable à un point**.
- **Conditions de stigmatisme approché : faisceau lumineux étroit , peu incliné sur l'axe du système** (optique paraxiale).

4 - Aplanétisme : objet plan ==> image plane si la condition d'Abbe est vérifiée



$$n AB \sin u = n' A'B' \sin u'$$

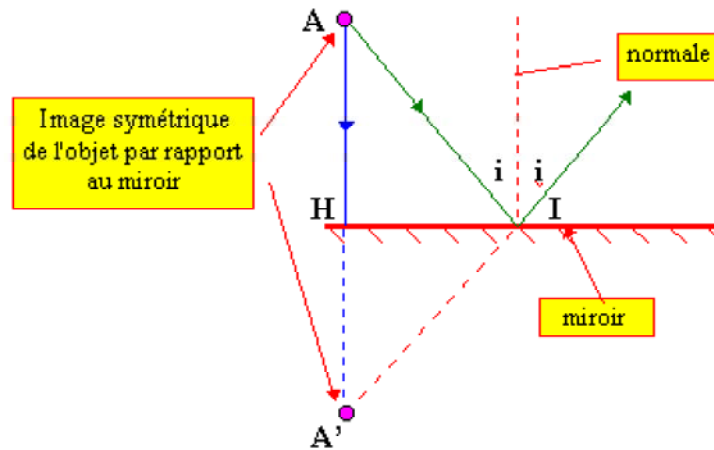
u et u' sont, respectivement, l'angle formé par l'axe du système avec la direction du rayon incident choisi et l'angle formé par l'axe et le rayon émergent correspondant.

ELEMENTS A FACES PLANES

- I - Le miroir plan.

- **Définition** : c'est une surface plane réfléchissante.

Généralités



- **Image d'un point**

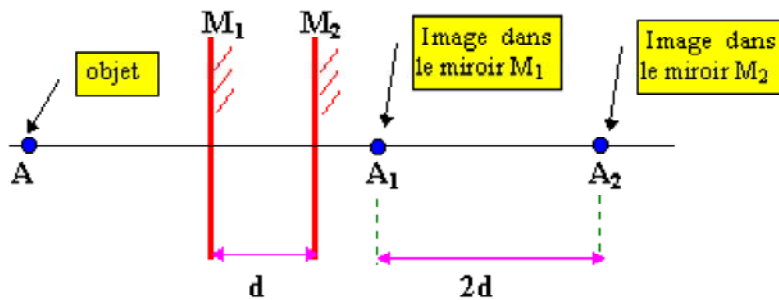
Un miroir plan est un dispositif **stigmatique**.

- **Relation de conjugaison objet - image.**

- Objet et image sont **symétriques** par rapport au miroir : $IA = IA'$, quel que soit le rayon lumineux utilisé pour la construction de l'image.
- Si l'objet est réel, l'image est virtuelle et inversement.

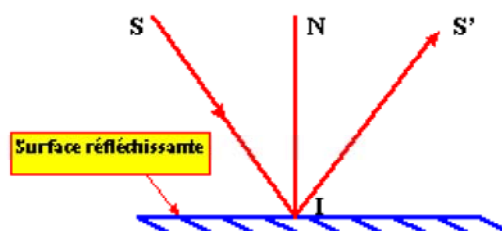
- **Déplacement du miroir.**

- **translation.**



Lorsque le miroir se déplace de d , l'image correspondante se déplace de $2d$.

- **Rotation.**



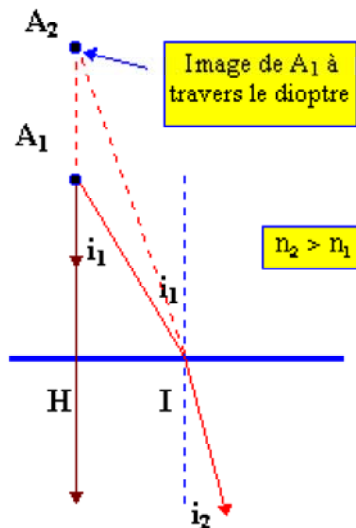
Le miroir tourne d'un angle θ , le rayon réfléchi correspondant tourne de 2θ .

- II - Le dioptre plan (lumière monochromatique)

- **Définition**

Deux milieux transparents séparés par une surface plane. La surface plane est le dioptre plan.

- **Image d'un point.**



$\tan i_1 = HI/HA_1$ et $\tan i_2 = HI/HA_2$ d'où :

$$n_1 / HA_1 = n_2 / HA_2$$

- Le dioptre plan donne une image dans les conditions de stigmatisme approché (observation au voisinage de la normale)

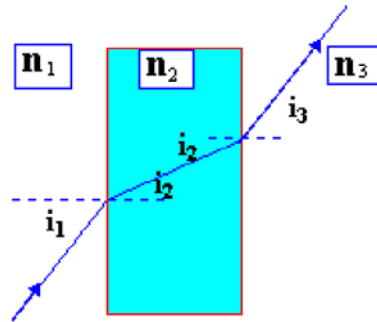
- III - lame à faces parallèles.

- **Définition.**

Milieu d'indice n limité par deux plans parallèles.

- **Marche d'un rayon lumineux.**

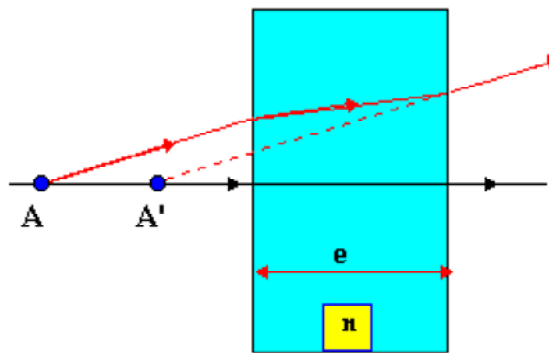
Généralités



$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 = n_3 \sin i_3$$

La direction du rayon émergent est indépendante de l'indice de la lame ; rayon incident et émergent sont **parallèles** si les milieux extrêmes sont identiques.

- **Image d'un point objet A.**



$$AA' = e \left(1 - \frac{1}{n} \right)$$

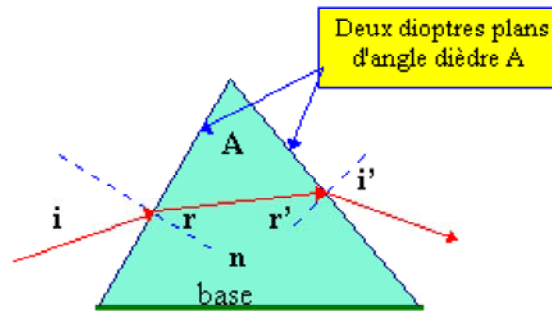
Le déplacement objet - image s'effectue vers la lame.

- III - Le prisme.

- **Définition.**

Milieu transparent d'indice n limité par deux plans non parallèles.

Généralités



- **Relations du prisme.**

$\sin i = n \sin r$
$\sin i' = n \sin r'$
$r + r' = A$
$D = i + i' - A$

- **Condition d'émergence.**

- L'angle de réfraction à l'intérieur du prisme doit être inférieur à l'angle de réfraction limite λ .
- L'émergence n'a lieu que si : $\pi/2 > i > i_0$; $\sin i_0 = n \sin (A-\lambda)$.

i_0 est l'angle d'incidence limite.

- **Étude de la déviation.**

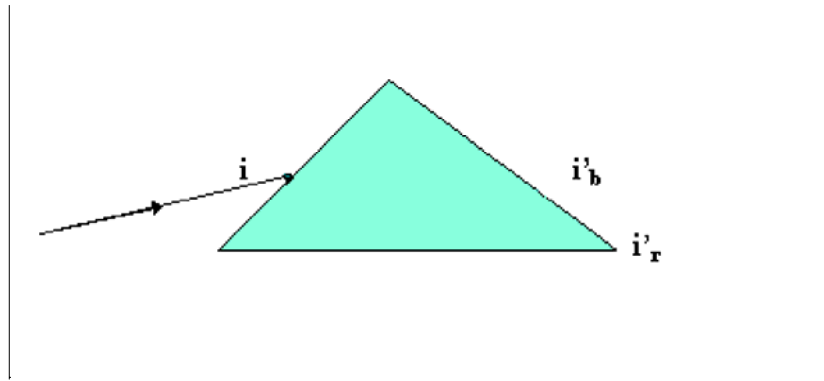
- La déviation dépend de A, n et i : $D = f(A, i, n)$.
- D croît avec A et passe par un minimum quand i varie de i_0 à $\pi/2$.
- Au minimum de déviation :

$i = i'$
$r = r' = A/2$
$D_m = 2 i_m - A$
$n = \sin[(A + D_m)/2] / \sin (A/2)$

- D varie avec la longueur d'onde de la lumière incidente ; en effet l'indice d'un matériau varie avec λ selon la Loi de Cauchy : $n = P + Q/\lambda^2$.

- **Le phénomène de dispersion.**

Généralités

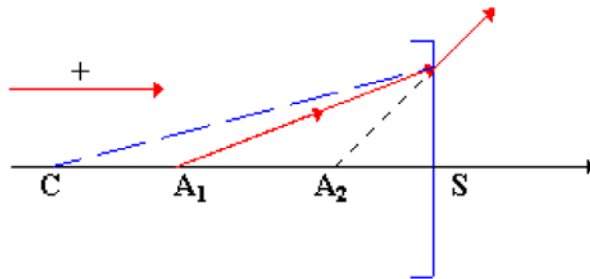


Au minimum de déviation pour la radiation moyenne : $di' = 2 \tan i_m dn/n$.

ELEMENTS A FACES SPHERIQUES

- I - LE DIOPTRE SPHERIQUE (lumière monochromatique)

- **Définition** : ensemble de deux milieux transparents séparés par une surface sphérique.
- **Image d'un point** ($n_1 > n_2$)



Le dioptre sphérique est **non stigmatique**

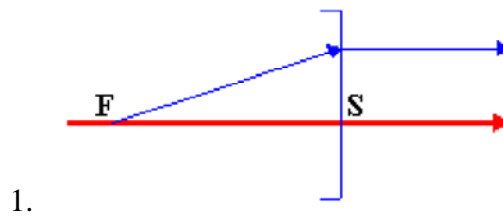
- **Relation de conjugaison objet - image** (sens positif conventionnel de la gauche vers la droite)

Origine au sommet	$n_1 / SA_1 - n_2 / SA_2 = (n_1 - n_2) / SC$
Origine au centre	$n_1 / CA_2 - n_2 / CA_1 = (n_1 - n_2) / CS$

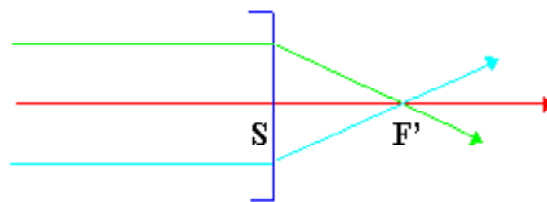
- **Foyers - distances focales.**

Généralités

- **Foyer objet F** : point de l'axe auquel correspond une image à l'infini ; SF est la **distance focale objet**.



- **Foyer image F'** : point de l'axe image d'un point objet situé à l'infini ; SF' est la **distance focale image**.

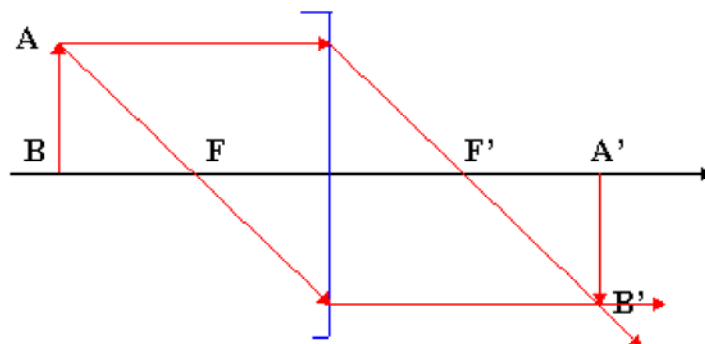


- **Nota :**

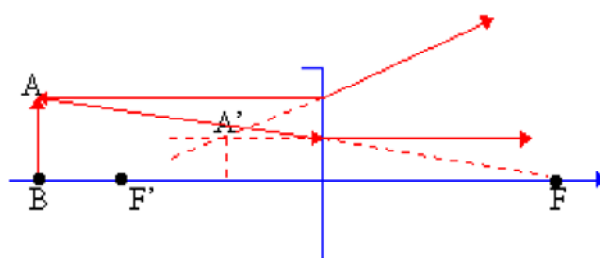
- $SF' > 0$; le dioptre est convergent.
- $SF' < 0$ le dioptre est divergent.
- F et F' sont toujours situés de part et d'autre du dioptre.

- **Construction de l'image** (condition d'aplanétisme supposée respectée).

DIOPTRE CONVERGENT



DIOPTRE DIVERGENT



- **Grandissement** : c'est le rapport de la dimension linéaire de l'image à la dimension de l'objet.

$$\gamma = I / O$$

	CARACTERISTIQUES D'UN INSTRUMENT D'OPTIQUE
--	---

Les instruments d'optique seront supposés parfaits (pas d'aberrations géométriques, ni d'aberrations chromatiques). Les caractéristiques considérées ne concernent que l'image obtenue.

- I - GRANDISSEMENT

$\gamma = A_1 B_1 / AB$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AB dimension linéaire de l'objet ▪ $A_1 B_1$ dimension linéaire de l'image ▪ $\gamma < 0$ image renversée par rapport à l'objet ▪ $\gamma > 0$ image droite, de même sens que l'objet
-------------------------	---

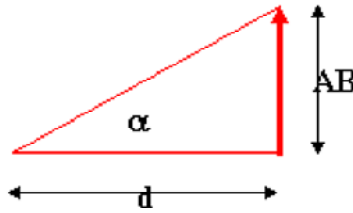
- II - PUISSANCE

$P = \alpha' / AB$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ P s'exprime en dioptries (δ) ▪ AB dimension linéaire de l'objet (m) ▪ α' angle sous lequel l'oeil voit l'image (rad)
--------------------	--

- La puissance dépend des conditions de vision. Si l'oeil regarde à l'infini, la puissance prend le nom de **puissance intrinsèque**. L'objet se trouve alors dans le plan focal objet de l'instrument.

- III - GROSSISSEMENT

Généralités



$$G = \alpha' / \alpha$$

* α est l'angle sous lequel l'objet est vu, à l'oeil nu, à la distance minimale de vision distincte

* α' est l'angle sous lequel on voit l'image à travers l'instrument.

- Comme, par ailleurs, on a : $\alpha = AB / d$, il s'ensuit : $G = \alpha' d / AB = P d$

- IV - POUVOIR SEPARATEUR

- Il mesure :
 - la **distance minimale** entre deux points vus distinctement à travers l'appareil, si l'objet est à distance finie.
 - l'**angle minimal** de deux points vus distinctement, si l'objet est éloigné.

- V - CHAMP

- C'est la portion de l'espace visible à travers l'instrument
- **Champ en profondeur ou sur l'axe** : un objet ne peut être vu que si son image se situe dans les limites de vision de l'oeil . Cette image doit donc se trouver entre le punctum proximum et le punctum remotum de l'oeil . L'intervalle entre les positions de l'objet est appelée **profondeur de champ** de l'appareil ou **latitude de mise au point**.
- **Champ en largeur** : c'est la portion de l'espace visible dans une direction de l'axe optique. Les diaphragmes de l'instrument limitent ce champ en largeur.