

OPTIQUE

GEOMETRIQUE



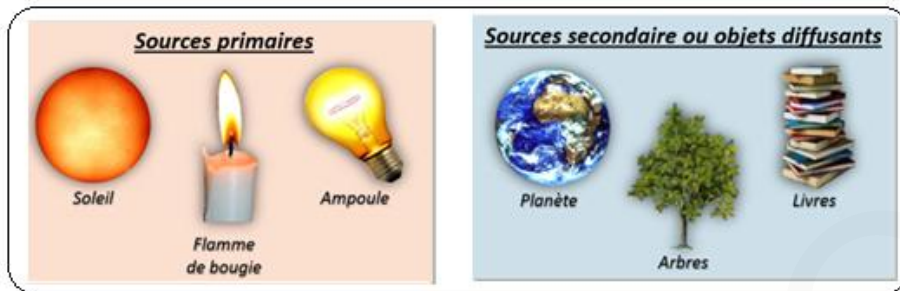
- le miroir plan
- le dioptré plan
- la lame à faces parallèles
- le prisme
- les lentilles minces

L'optique est la branche de la physique qui s'intéresse à l'étude des phénomènes lumineux, c'est-à-dire des phénomènes perçus par l'œil. Pour qu'on puisse voir, il faut de la lumière.

1. Sources de lumière

Les sources de lumière sont deux types :

- les sources primaires : produisent la lumière.
- les sources secondaires: réémettent la lumière reçue.



2. Milieux de propagation de la lumière

- les milieux transparents : laissent passer la lumière (eau, verre, l'air...)
- les milieux opaques ne laissent pas passer la lumière (bois, le marbre...)

Remarque :

Un milieu est dit homogène lorsqu'il possède les mêmes propriétés en chacun de ses points.

Un milieu est dit isotrope s'il possède les mêmes propriétés quelle que soit la direction considérée.

3- Notion de rayon lumineux

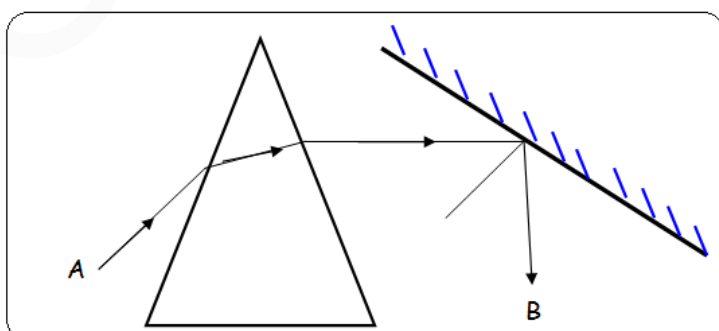
Un rayon lumineux matérialise le trajet suivi par la lumière pour aller d'un point à un autre. On le représente par un segment de droite, avec une flèche qui indique le sens de propagation.

La propagation de la lumière est basée sur trois principes

1- Principe de propagation rectiligne de la lumière : Dans un milieu homogène, la lumière se propage en ligne droite.

2- Principe d'indépendance des rayons lumineux : Les rayons émis par une ou plusieurs sources sont indépendants les uns des autres.

3- Principe du retour inverse : Dans un milieu transparent et isotrope, le trajet de la lumière est indépendant du sens de parcours.

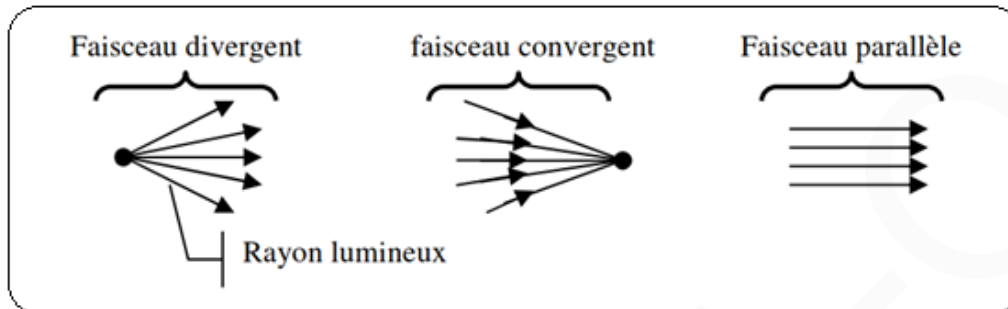


4- Faisceaux lumineux

Faisceaux lumineux : C'est l'ensemble des rayons lumineux.

Un faisceau lumineux est constitué d'un ensemble de rayons. Il peut être :

- parallèle si les rayons qui le constituent sont parallèles,
- convergent si les rayons qui le constituent, convergent vers un même point
- divergent si les rayons qui le constituent, semblent provenir d'un même point.



3. Indice de réfraction

La Vitesse de propagation de la lumière dans le vide est $C = 3 \cdot 10^8$ m/s. La lumière peut se propager même en l'absence de milieu matériel, c'est-à-dire même dans le vide (contrairement aux sons). Dans un milieu transparent, homogène et isotrope, la lumière se propage à une vitesse V plus petite que sa vitesse C dans le vide. On définit l'indice du milieu de propagation par la quantité :

$$n = \frac{\text{vitesse lumière dans le vide}}{\text{vitesse lumière dans le milieu}} \quad n = c/v$$

milieu	air	eau	éthanol	verres	benzène	diamant
indice n	1	1,3	1,36	$1,5 < n < 1,8$	1,6	2,4

4. Systèmes optiques, Notions d'objet et d'image

Un objet lumineux est un ensemble de points sources qui émettent de la lumière. Ils peuvent produire de la lumière par eux-mêmes (soleil, lampe, flamme), ce sont alors des sources primaires. Ils peuvent également la renvoyer (tout objet éclairé), ce sont alors des sources secondaires.

Un système optique est un ensemble de milieux transparents séparés par des surfaces dioptriques ou réfléchissantes. Les rayons arrivant sur un système optique proviennent d'un objet, ils subissent des réfractions et ou des réflexions et ils

émergent pour donner une image.

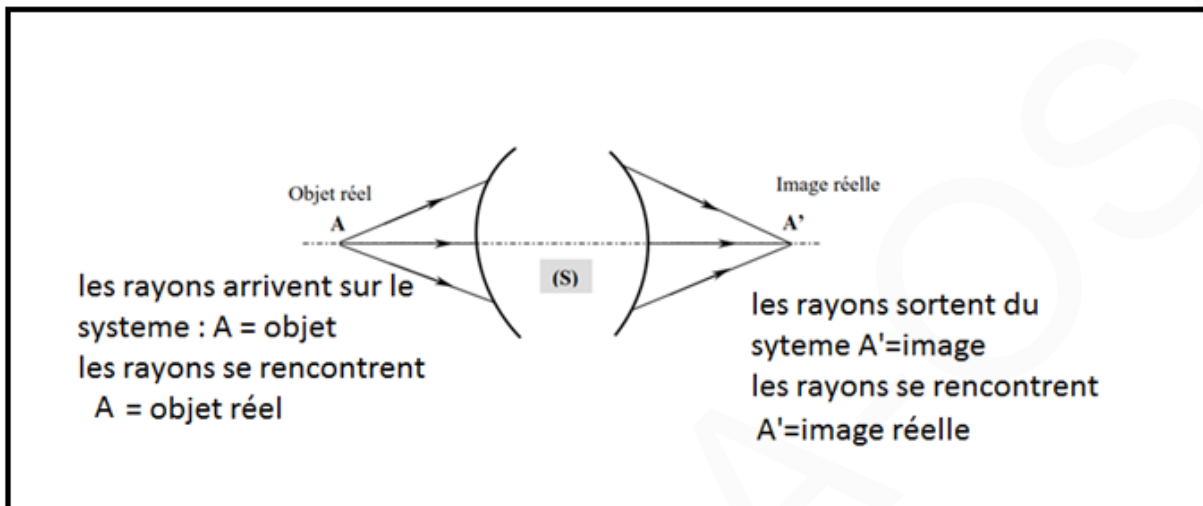
L'objet et l'image peuvent être de nature réelle ou virtuelle:

Objet réel : si les rayons arrivent sur le système, il s'agit d'un objet.

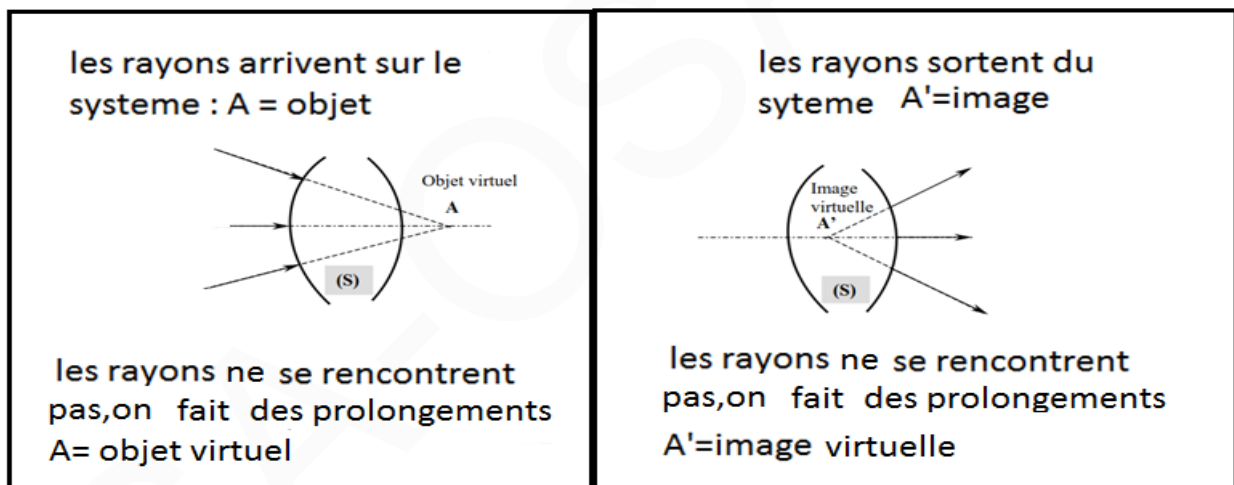
Image : si les rayons sortent du système, il s'agit d'une image.

Réel : si les rayons se rencontrent, l'objet (ou l'image) est réel(le).

virtuel : si les rayons ne se rencontrent pas, on fait des prolongements, on parle d'objet virtuel ou d'image virtuelle.



c



5. conditions de Gauss

Ces conditions permettent d'obtenir une image convenable d'un objet et traduisent le stigmatisme approché. Elles sont les suivantes :

- l'objet doit être plan, perpendiculaire à l'axe optique, de petites dimensions ;
- il ne doit envoyer sur le système que des rayons paraxiaux (les rayons considérés restent voisins de l'axe optique avec de faibles angles d'inclinaison).

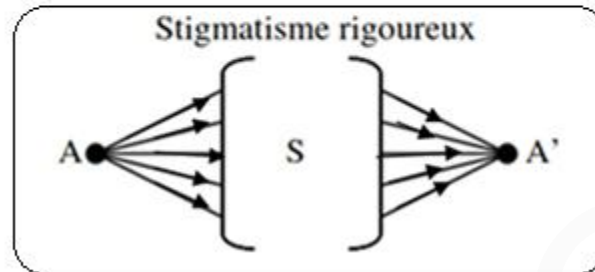
L'image obtenue dans ces conditions est de bonne qualité, plane, perpendiculaire à l'axe.

6. Stigmatisme

Un système optique est de bonne qualité si 'il donne d'une source ponctuelle une image ponctuelle : c'est la condition de stigmatisme.

a- Stigmatisme rigoureux :

Un système optique est dit rigoureusement stigmatique pour un couple de points A et A' , si tout rayon lumineux passant par le point objet A émerge du système optique en passant par le point A' . A' est alors l'image de A par le système optique ; on dit encore que A et A' sont conjugués par rapport au système optique.

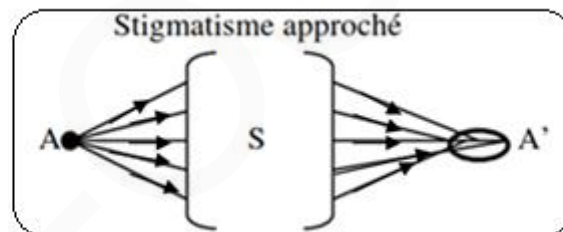


C-Astigmatisme :

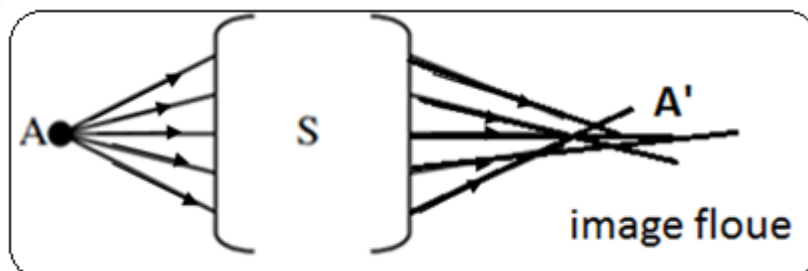
b- STIGMATISME APPROCHE

Un système optique présente un **stigmatisme approché** pour un couple de points A et A' si tous les rayons issus du point A qui entrent dans l'instrument en ressortent en passant tous très près du point A' à l'échelle du pouvoir séparateur du dispositif d'observation ; l'image du point A est une tache de très petites dimensions centrées en A' .

On dit que A et A' sont conjugués au sens du stigmatisme approché.



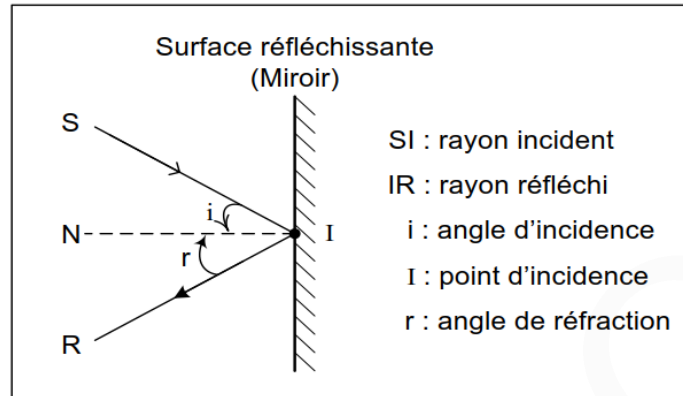
Astigmatisme : Dans un système optique, l'astigmatisme est dû à une imperfection du système optique, Ceci a pour conséquence un défaut de focalisation du rayon lumineux après le passage au travers le système optique ; l'image de chaque point se traduira par un trait et non plus par point, l'image résultante de l'objet sera déformée.



LE MIROIR PLAN

I. définition

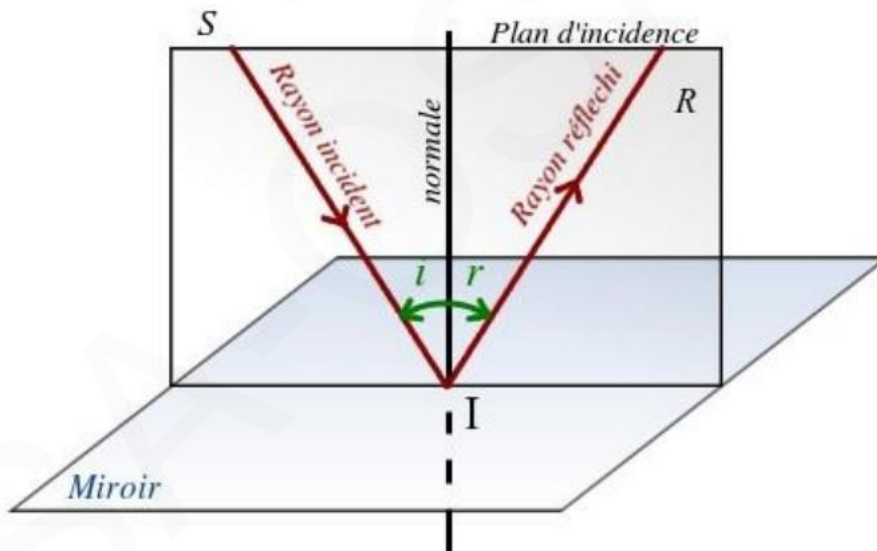
Un miroir plan est une surface réfléchissante, il donne une image rigoureusement stigmatique, symétrique de l'objet par rapport au miroir.



II. Relation angle d'incidence et angle de réflexion

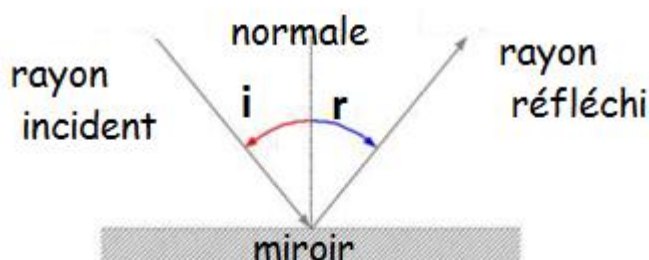
- 1^{ère} Loi de Descartes relative à la réflexion :

Rayon incident et rayon réfléchi sont dans le même plan, appelé : plan d'incidence



- 2^{ème} Loi de Descartes relative à la réflexion :

L'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion :

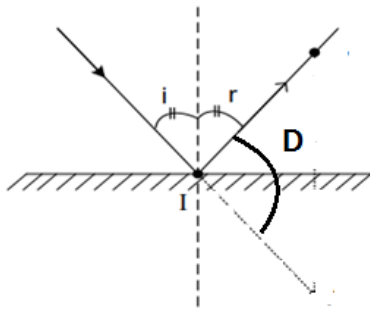


Le rayon réfléchi est symétrique au rayon incident par rapport à la normale à la

surface réfléchissante ; On a donc :

$$i = r$$

III. L'angle de déviation D

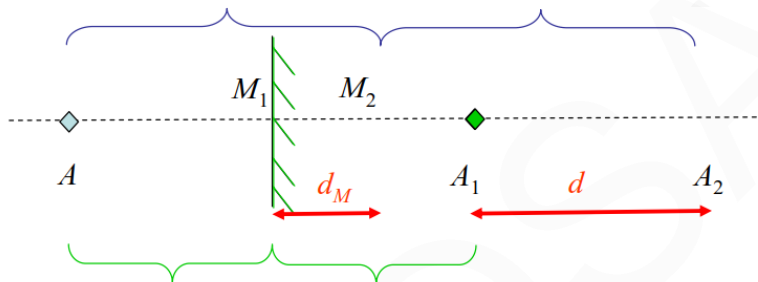


La déviation est l'angle entre le prolongement du rayon incident et du rayon réfléchi :

$$D = \pi - 2i$$

IV. Déplacement d'une image par déplacement d'un miroir plan

a/ Translation



$$\overrightarrow{AA_2} = 2\overrightarrow{AM_2} = 2\overrightarrow{AM_1} + 2\overrightarrow{M_1M_2} = \overrightarrow{AA_1} + 2\overrightarrow{M_1M_2}$$

$$\overrightarrow{A_1A_2} = \overrightarrow{AA_2} - \overrightarrow{AA_1} = 2\overrightarrow{M_1M_2}$$

$$d = 2 d_M$$

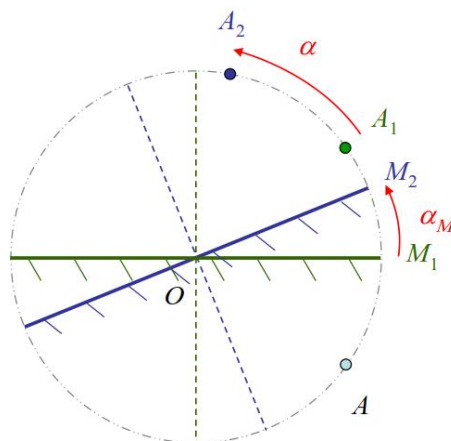
L'image se déplace dans le même sens que le miroir, d'une longueur double.

b/ Rotation

$$\begin{aligned} (\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OA_2}) &= 2(\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OM_2}) \\ &= 2(\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OM_1}) + 2(\overrightarrow{OM_1}, \overrightarrow{OM_2}) \\ &= (\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OA_1}) + 2(\overrightarrow{OM_1}, \overrightarrow{OM_2}) \end{aligned}$$

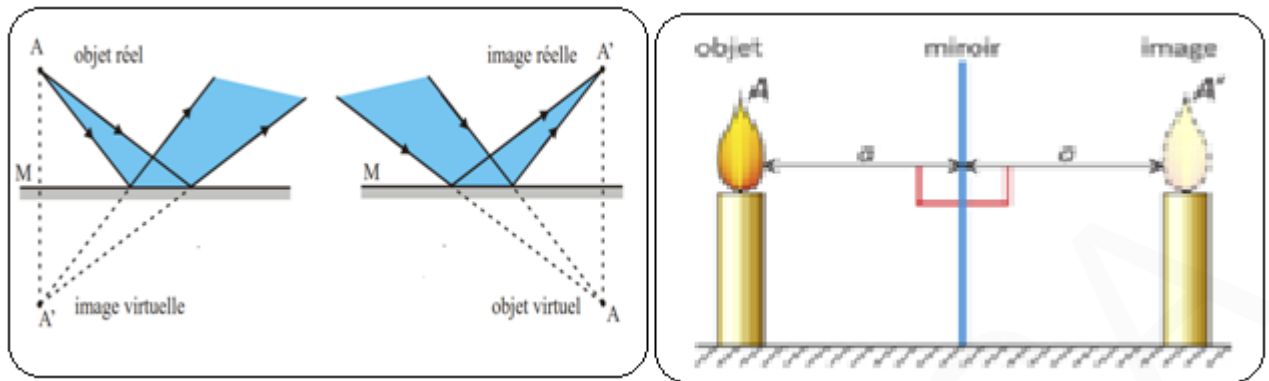
$$\begin{aligned} (\overrightarrow{OA_1}, \overrightarrow{OA_2}) &= (\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OA_2}) - (\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OA_1}) \\ &= 2(\overrightarrow{OM_1}, \overrightarrow{OM_2}) \end{aligned}$$

$$\alpha = 2 \alpha_M$$



L'image se déplace dans le même sens que le miroir, d'un angle double.

V. Relation objet et image



Dans un miroir plan, l'objet et l'image sont de natures opposées :

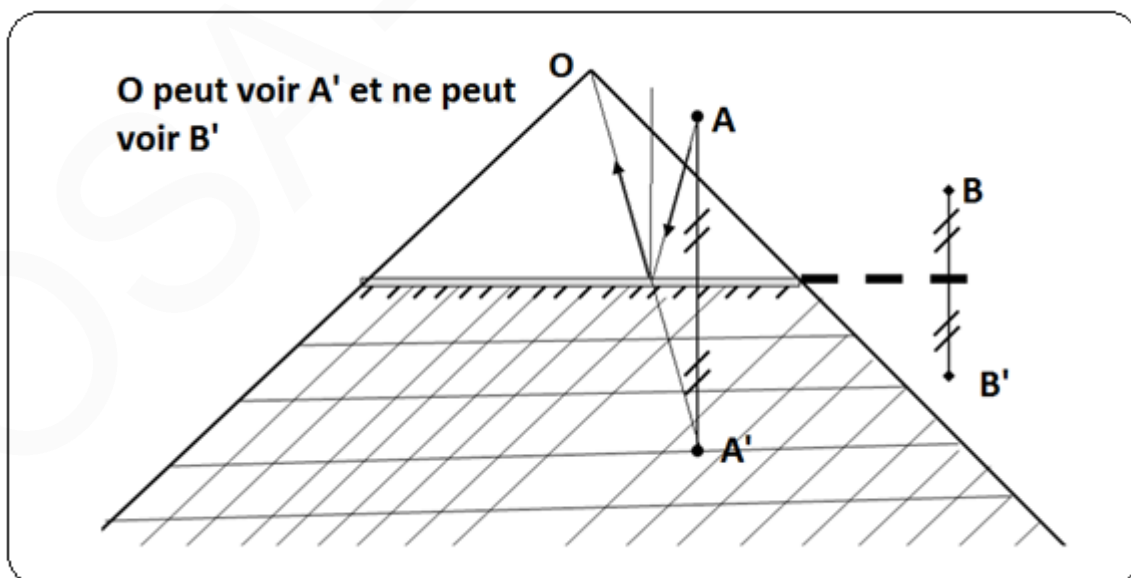
$$\overline{MA'} = \overline{MA} \quad \text{Formule de conjugaison}$$

Un miroir plan donne de tout point objet une image :

- image rigoureusement stigmatique,
- L'objet et l'image sont toujours de nature différente : Si l'objet est réel, son image est virtuelle et inversement si l'objet est virtuel son image est réelle.
- L'objet et l'image sont toujours de part et d'autre du miroir.

VI. Visibilité de l'image-champ de vision

Soit un miroir de largeur MN et un observateur O, trouvons les images qu'il peut voir. Pour cela à partir de O on trace deux droites qui passent par les extrémités du miroir M et N, l'espace délimité par le miroir et les deux droites (espace hachuré) représente l'espace des images perçues par l'observateur O. Cet espace est appelé champ de vision.



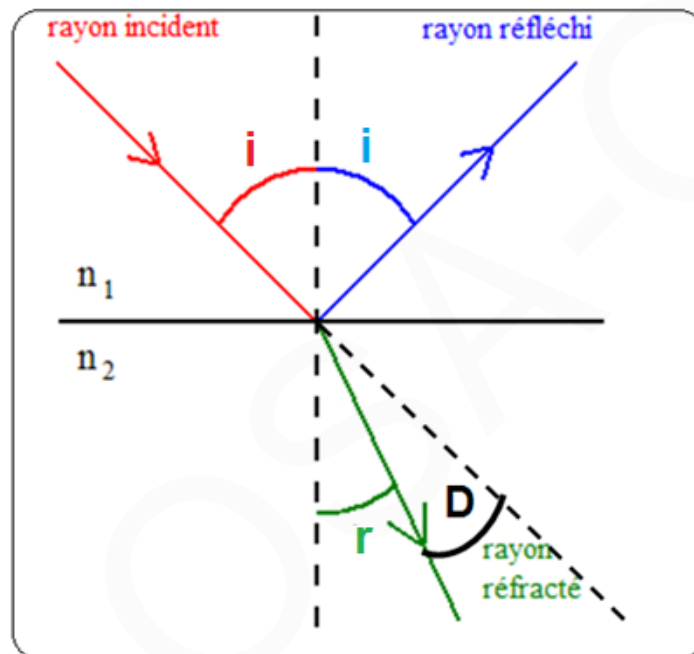
DIOPTRE PLAN

1-définition

Un dioptre plan est une surface plane séparant deux milieux homogènes et isotropes, d'indices de réfraction différents.

Réflexion et réfraction

lorsque la lumière lumineux rencontre la surface de séparation de deux milieux optiques différents, une partie de la lumière revient dans le premier milieu (*réflexion*) et une partie pénètre dans le second milieu (*réfraction*).



2- Loi de la réfraction

L'angle d'incidence et l'angle de réfraction sont liés par la relation :

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

3-La déviation D

La déviation est l'angle entre le prolongement du rayon incident et le rayon réfracté, elle est donnée par :

$$D = |i - r|$$

4-Angle limite de réfraction, réflexion totale

Lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu d'indice n_1 à un milieu d'indice n_2 , avec $n_2 > n_1$, le rayon réfracté se rapproche de la normale, au contraire si $n_1 > n_2$ le rayon s'éloigne de la normale.

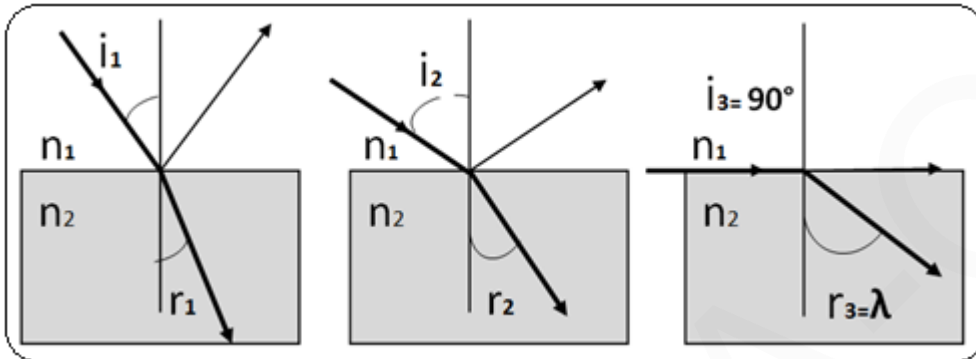
Soit un dioptre plan caractérisé par ses indices n_1 et n_2 ($n_2 > n_1$), il existe un angle critique, appelé angle limite de réfraction noté λ donné par :

$$\sin \lambda = n_1/n_2$$

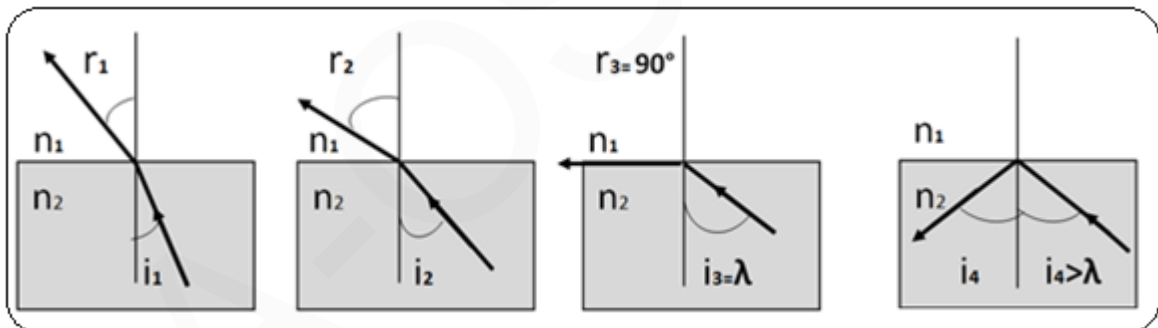
L'angle critique appartient au milieu d'indice le plus élevé, son conjugué est l'angle 90° .

Selon la position de la source de lumière deux cas peuvent se présenter.

❖ Cas où la source de lumière est dans le milieu le moins réfringent (l'indice le plus petit) : quel que soit le rayon incident il y a réfraction, et pour $i=90^\circ$ alors $r=\lambda$.



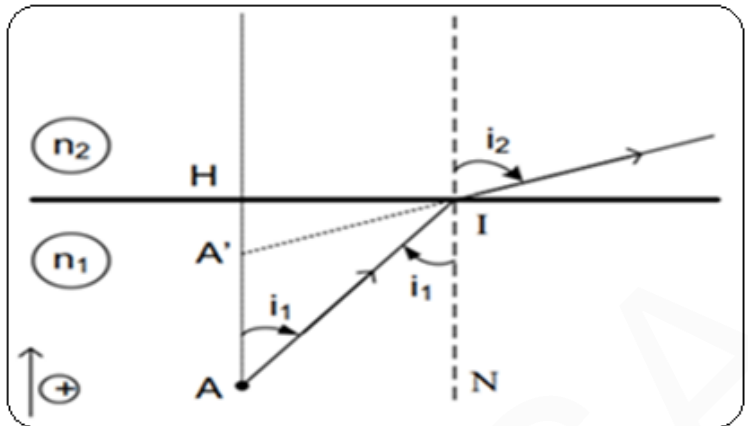
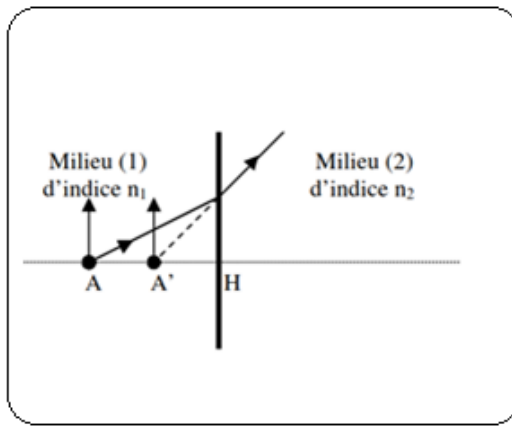
❖ Cas où la source de lumière est dans le milieu le plus réfringent (l'indice le plus élevé) : dans ce cas les rayons qui font un angle inférieur ou égal à λ sont réfractés, ceux qui font un angle supérieur à λ font une réflexion, on parle de réflexion totale.



Pour $i > \lambda$, il y a une réflexion totale, le dioptre se comporte comme un miroir.

5-Image donnée par Le dioptre plan ; Formule de conjugaison

- L'objet et l'image sont toujours du même côté du dioptre.
- L'objet et l'image sont toujours de nature différente : Si l'objet est réel son image est virtuelle et inversement si l'objet est virtuel son image est réelle.
- L'image est toujours droite par rapport à l'objet et de même grandeur que l'objet.
- Le dioptre plan n'est pas un système optique stigmatique. Seul le stigmatisme approché est réalisé.



A' est l'image de A et se situe sur l'axe (AH) , H étant le projeté orthogonal de A sur le dioptre plan. A est réel et A' est virtuel.

Les triangles IHA' et IHA sont rectangles en H :

$$\begin{aligned} \operatorname{tgi}_1 &= \frac{\overline{HI}}{\overline{HA}} & \text{et} & & \operatorname{tgi}_2 &= \frac{\overline{HI}}{\overline{HA'}} & \Rightarrow & & \frac{\operatorname{tgi}_1}{\operatorname{tgi}_2} &= \frac{\overline{HA'}}{\overline{HA}} \\ \frac{\sin i_1}{\sin i_2} &= \frac{n_2}{n_1} \end{aligned}$$

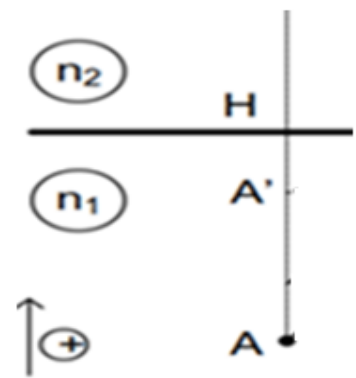
Dans les conditions de Gauss, les rayons issus de A sont paraxiaux: i_1 et i_2 sont faibles.

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tgi}_1 &\approx \sin i_1 \\ \operatorname{tgi}_2 &\approx \sin i_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{\operatorname{tgi}_1}{\operatorname{tgi}_2} = \frac{\overline{HA'}}{\overline{HA}} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{n_1}{\overline{HA}} = \frac{n_2}{\overline{HA'}} \Leftrightarrow \frac{\overline{HA}}{n_1} = \frac{\overline{HA'}}{n_2} \quad \text{Formule de conjugaison}$$

Remarque

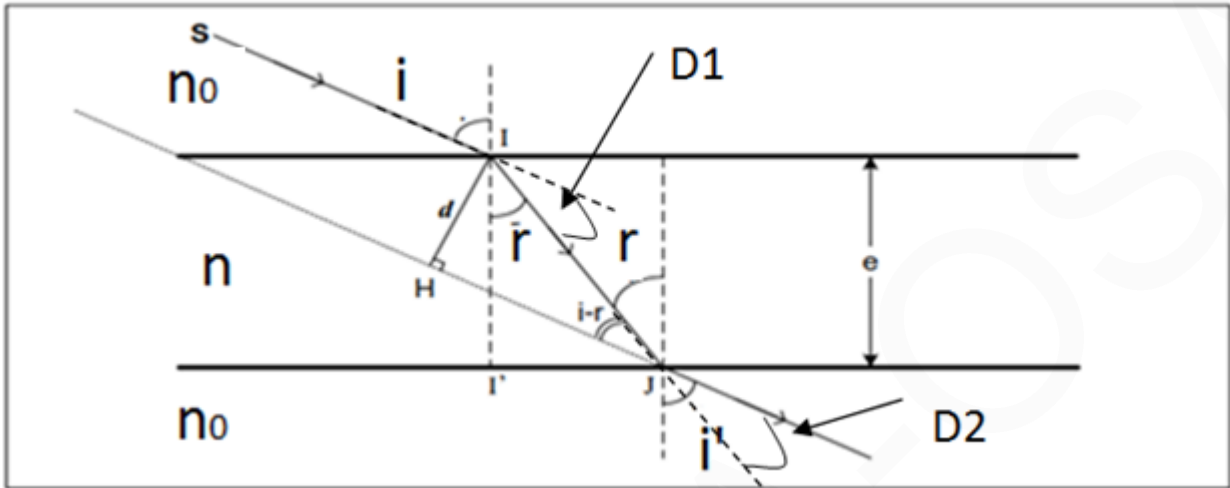
$$\begin{array}{c} \text{A} \xleftarrow{\quad} \text{H} \xrightarrow{\quad} \text{A'} \\ n_1 \qquad \qquad n_2 \end{array} \Rightarrow \frac{\overline{HA}}{n_1} = \frac{\overline{HA'}}{n_2}$$



LAME A FACES PARALLELES

Une lame à faces parallèles est un milieu transparent et homogène limité par deux dioptries plans parallèles.

1-Déviat ion du rayon incident



Sur la 1^o face : $n_0 \sin i = n \sin r$

Sur la 2^o face : $n_0 \sin i' = n \sin r$

$n_0 \sin i = n_0 \sin i'$ Donc $i = i'$

$D = D1 - D2$ $D = (i - r) - (i - r)$ $D = 0$

Conclusion : à la traversée d'une lame à faces parallèles le rayon n'est pas dévié, il ressort parallèle à lui même, par contre il subit une translation.

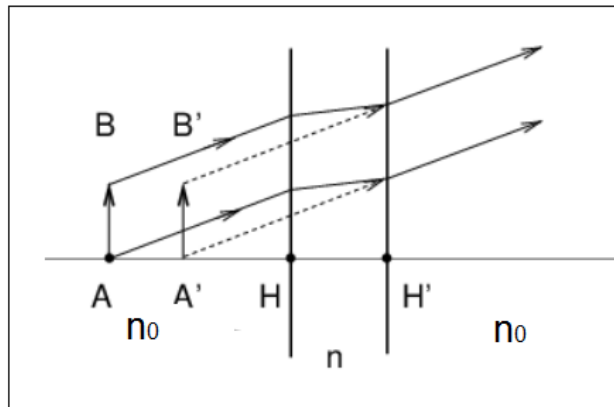
2-Image d'un objet ponctuel à travers une lame

Considérons une lame d'indice n et d'épaisseur e , qui baigne dans un milieu d'indice n_0 . Soit par ailleurs un objet ponctuel A , situé à distance finie, et qui satisfait aux conditions du stigmatisme approché. Le déplacement apparent de l'objet à travers la lame est donné par :

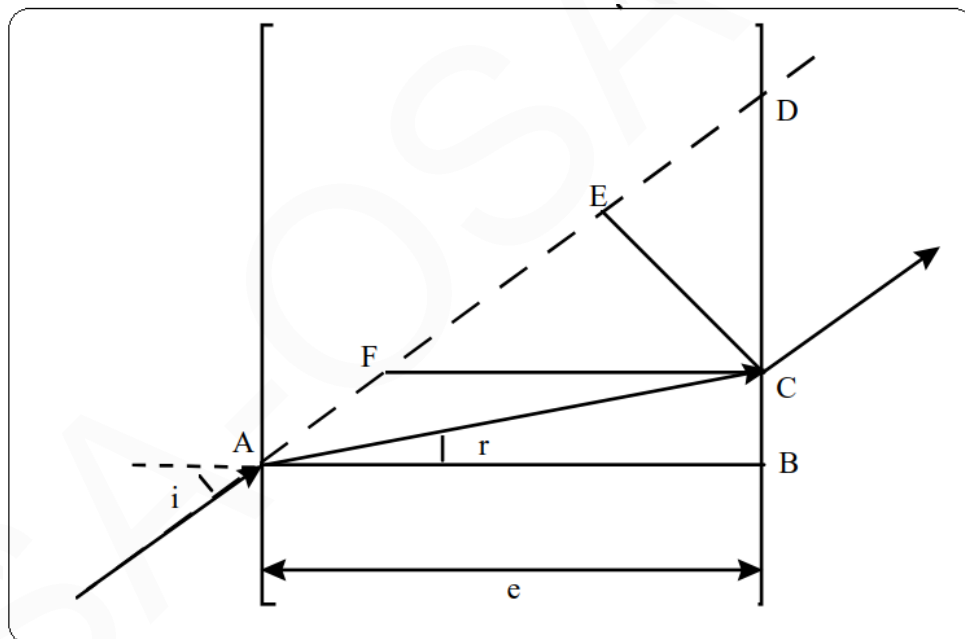
$$AA' = e \left(1 - \frac{n_0}{n} \right)$$

- ❖ AA' = déplacement de l'image
- ❖ e = épaisseur de la lame.
- ❖ n = indice de la lame.
- ❖ n_0 indice du milieu
- ❖ si $AA' > 0$, il s'agit d'un rapprochement
- ❖ si $AA' < 0$, il s'agit d'un éloignement

- ❖ La distance Objet-Image est indépendante de la distance de l'objet à la lame.
- ❖ L'objet et l'image sont toujours de nature différente : Si l'objet est réel son image est virtuelle et inversement si l'objet est virtuel son image est réelle.
- ❖ L'image est toujours droite par rapport à l'objet et de même grandeur que l'objet
- ❖ La lame à face parallèles n'est pas un système rigoureusement stigmatique.



Le rayon subit trois translations :



Une translation latérale CE

$$CE = \frac{e \cdot \sin(i - r)}{\cos r}$$

Une translation CD parallèle à la lame

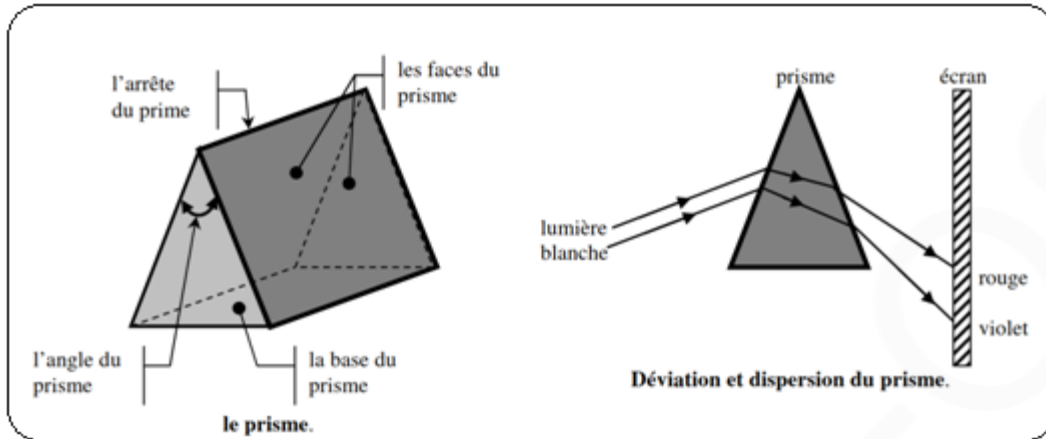
$$CD = e \cdot (\tan i - \tan r)$$

Une translation CF perpendiculaire à la lame :

$$CF = e \cdot \left(1 - \frac{\tan r}{\tan i} \right)$$

LE PRISME

Un prisme est un milieu transparent limité par deux surfaces planes non parallèles, appelées les faces du prisme. L'arrête du prisme est la droite d'intersection des deux surfaces planes. L'angle formé par les deux faces du prisme est appelé l'angle du prisme. Le prisme a deux propriétés : la dispersion et La déviation.



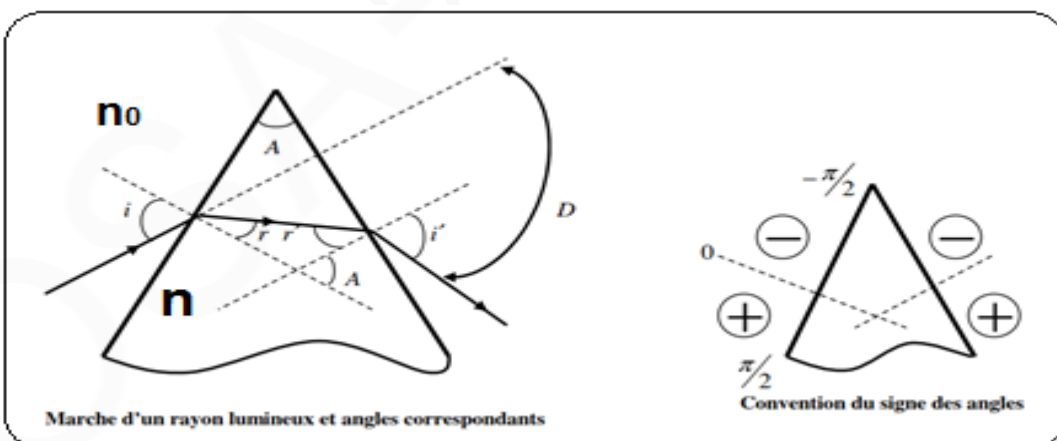
1-Les relations du prisme

Sur la 1^o face : $n_0 \sin i = n \times \sin r$

Sur la 2^o face : $n_0 \sin i' = n \times \sin r'$

L'angle du prisme vérifie : $A = r + r'$

La déviation du rayon est donnée par : $D = i + i' - A$



Conditions d'émergence :

Pour que le rayons incident sur la première face du prisme puisse émerger par la deuxième, face il faut que les deux conditions suivantes soient vérifiées :

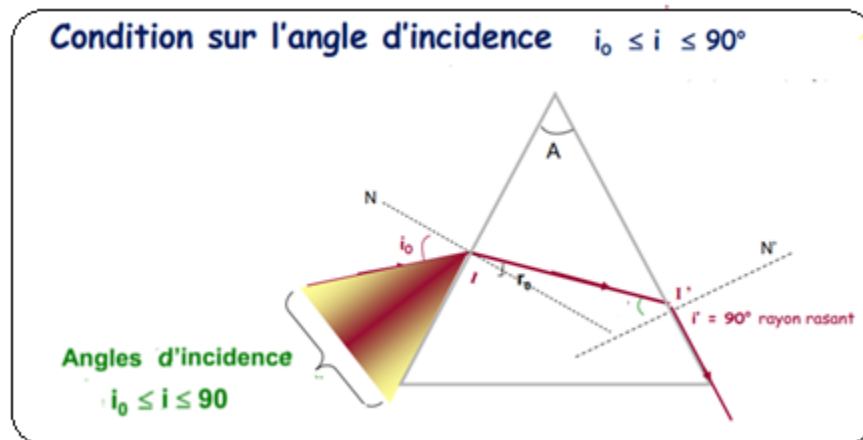
1^{ère} condition :

$$A \leq 2 \times \lambda$$

Cette condition est nécessaire mais non suffisante.

2^{ème} condition :

$$i_0 \leq i \leq 90^\circ \quad \text{tel que :} \quad n_0 \sin i_0 = n \times \sin(A - \lambda)$$



2- Déviation minimale

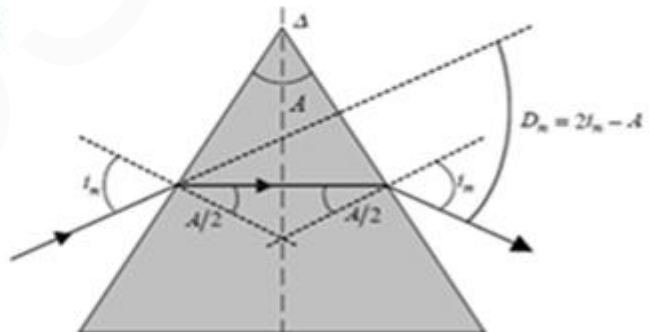
dévation minimale \Rightarrow Angle d'incidence = angle d'émergence
 Au minimum de déviation on a les relations suivantes :

$$i = i' = i_m$$

$$r = r' = r_m = A/2$$

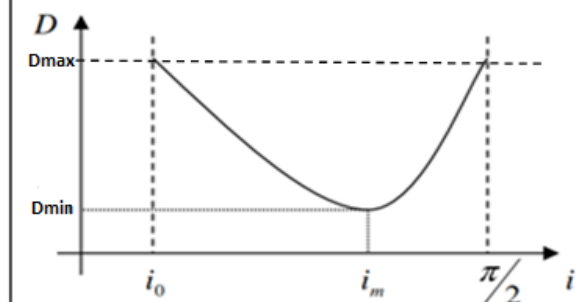
$$n_0 \sin i_m = n \times \sin r_m$$

$$D_m = 2 i_m - A$$



Variation de la déviation en fonction de l'angle d'incidence

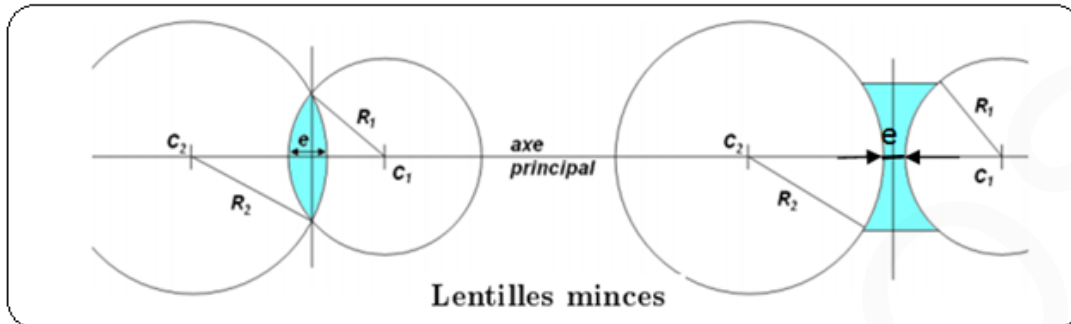
- > Déviation minimale : $i = i' = i_{min}$
- > Déviation maximale : $i = i_0$ ou $i = \pi/2$



LES LENTILLES MINCES

Une lentille est un système optique formé de deux dioptries, dont l'un au moins est sphérique
Une lentille sphérique est dite mince si son épaisseur e est négligeable devant les rayons de courbure R_1 et R_2 délimitant la lentille. Il est nécessaire d'avoir :

$$e \ll |R_1| \quad e \ll |R_2|$$

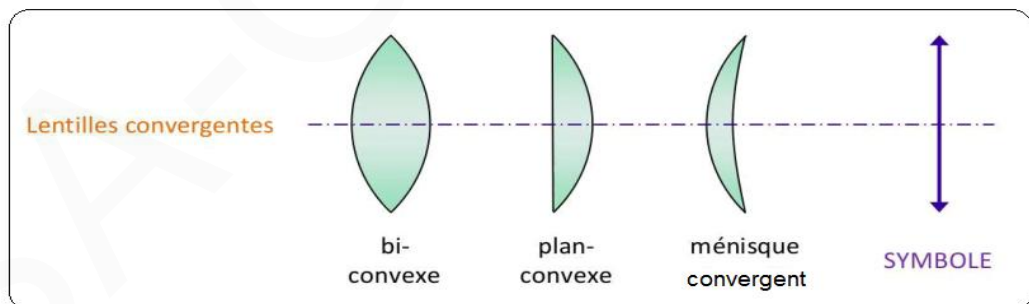


1-Les types de lentilles

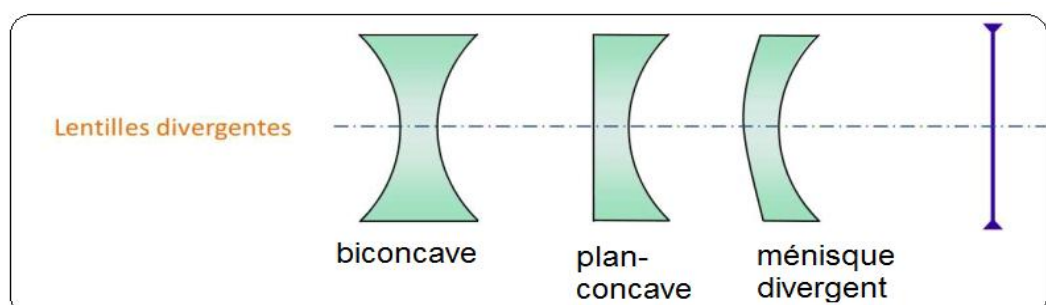
Les lentilles sont classées en deux groupes : les lentilles convergentes et les lentilles divergentes

- les lentilles à bords minces qui sont convergentes,
- les lentilles à bords épais qui sont divergentes.

a-Les lentilles convergentes : 3 types

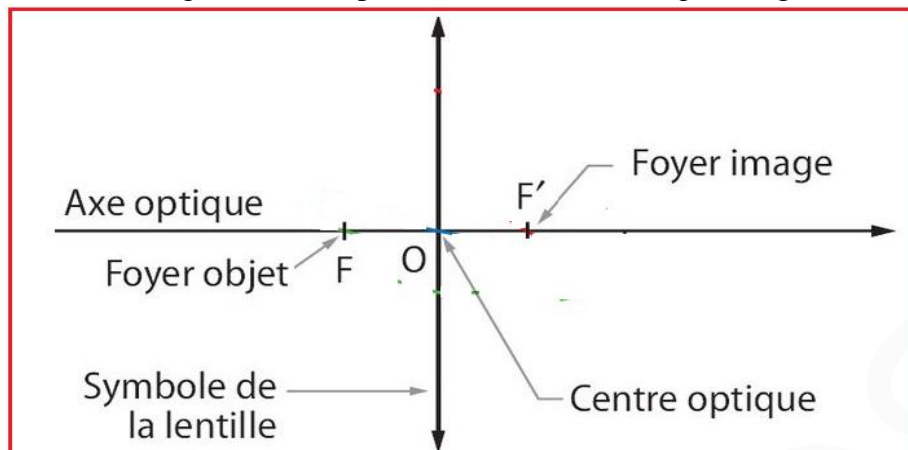


b-Les lentilles divergentes : 3 types

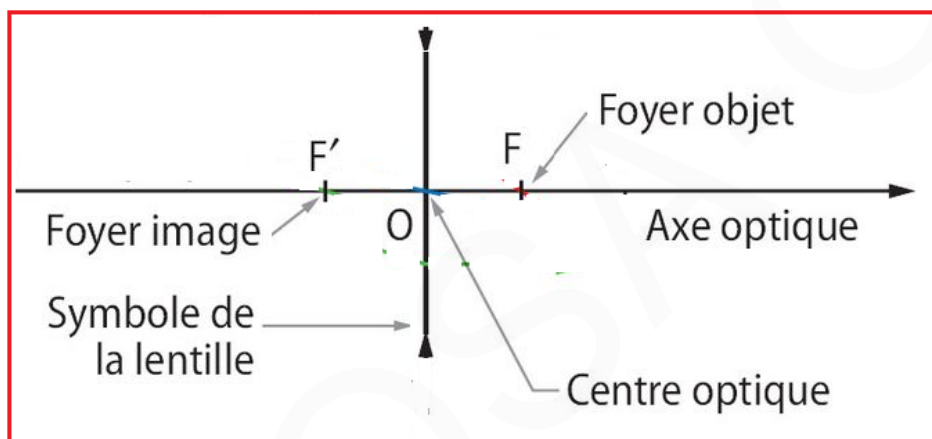


2 - Représentation des lentilles

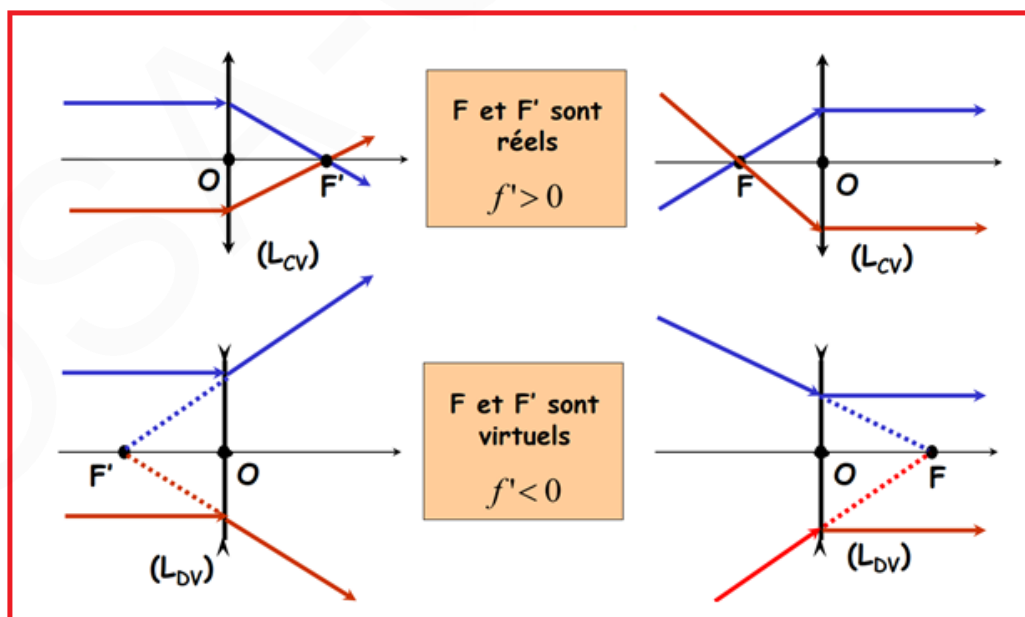
a- Les lentilles convergentes sont représentées comme l'indique la figure ci-dessous :



b- Les lentilles divergentes sont représentées comme l'indique la figure ci-dessous :



Nature des foyers objets et foyers images



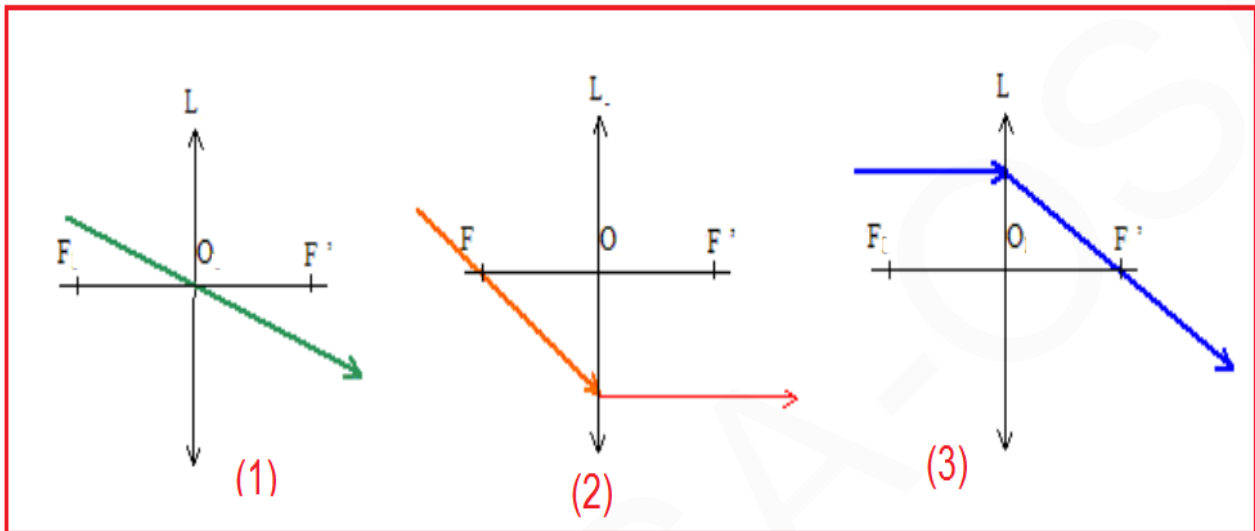
3- tracé des images

3-1 lentilles convergentes

1-Tout rayon passant par le centre optique O d'une lentille n'est pas dévié.

2-Tout rayon incident parallèle à l'axe principal d'une lentille convergente émerge en passant par le foyer principal image F'

3-Tout rayon incident passant par le foyer principal objet F d'une lentille convergente émerge parallèlement à l'axe principal de cette lentille

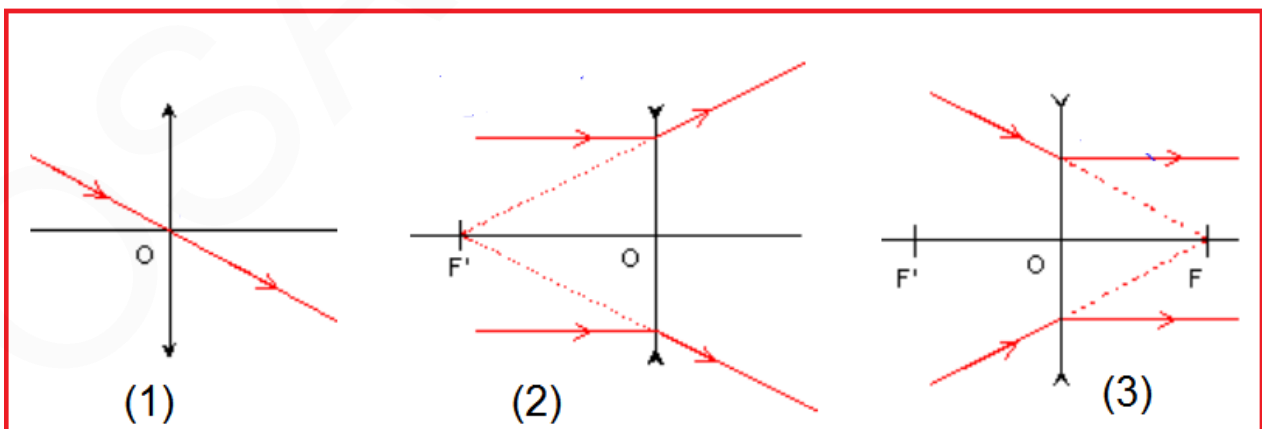


3-2 lentilles divergentes

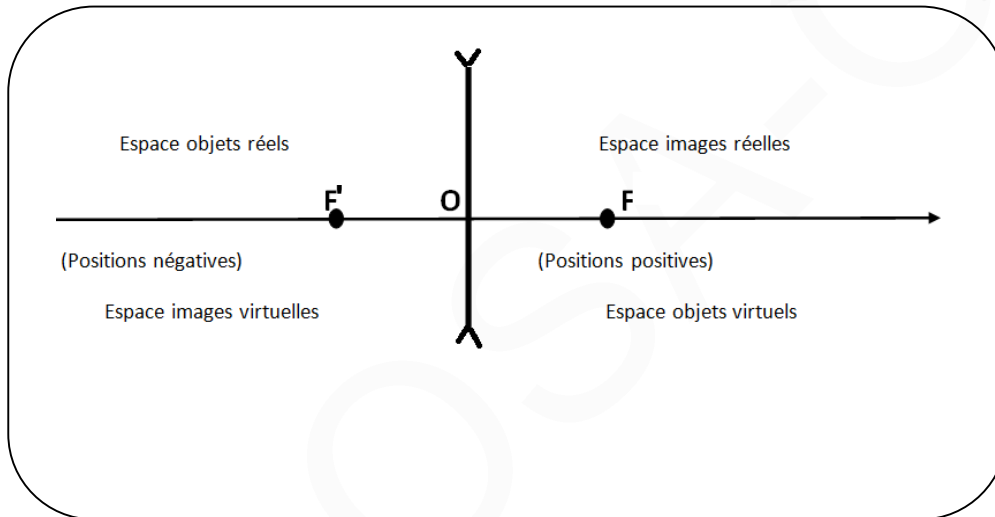
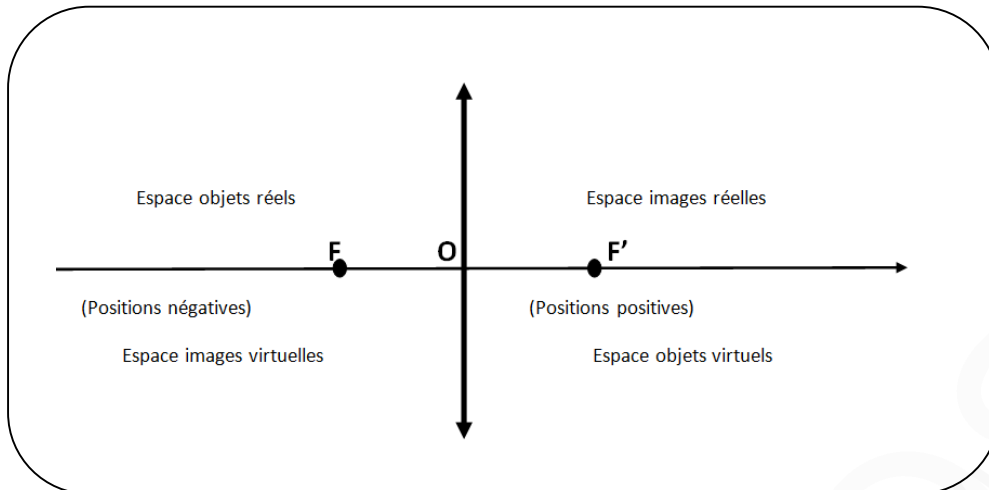
1-Tout rayon passant par le centre optique O d'une lentille n'est pas dévié.

2-Tout rayon incident parallèle à l'axe principal d'une lentille divergente émerge en semblant provenir du foyer principal image F' .

3-Tout rayon incident semblant passer par le foyer principal objet F d'une lentille divergente émerge parallèlement à l'axe principal de cette lentille.



4-Formules des lentilles



Relation de conjugaison:

Si l'objet est noté A et l'image A', on montre que:

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'}$$

Si $OA' > 0$ l'image A'B' est réelle

Si $OA' < 0$ l'image A'B' est virtuelle

Sens de l'image :

Relation de grandissement:

Soit un objet AB d'image A'B'. On appelle grandissement la grandeur

$$\gamma = \frac{OA'}{OA}$$

Si $\gamma > 0$, l'image est droite par rapport à l'objet.
 Si $\gamma < 0$, l'image est inversée par rapport à l'objet

Taille de l'image :

$$|Y| = \frac{|A'B'|}{|AB|} \quad \overline{A'B'} = |Y| \cdot |\overline{AB}|$$

5-Vergence de la lentille

La vergence de la lentille est donnée par

$$C = \frac{1}{OF'}$$

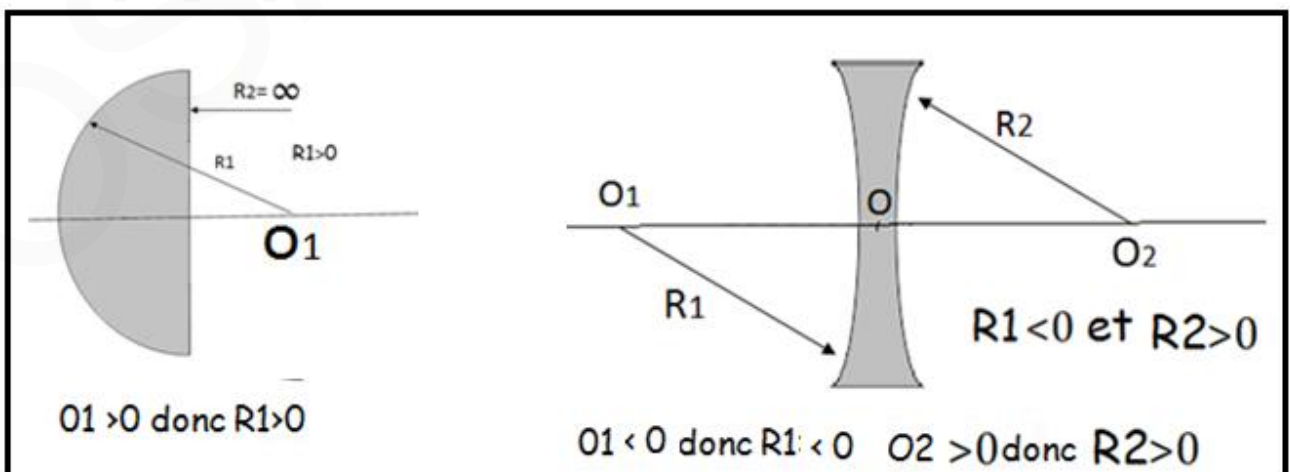
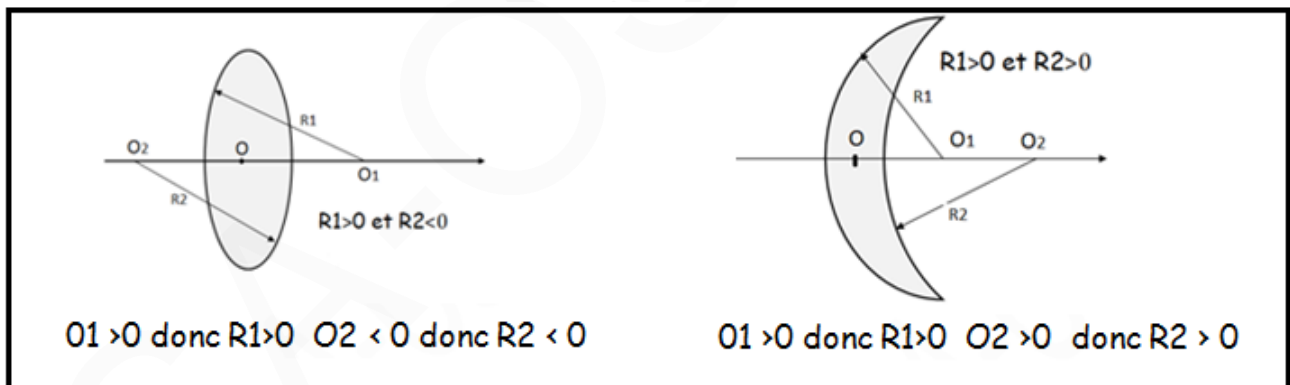
$$C = \left(\frac{n}{n_0} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

R_1 = rayon de la 1^o face

R_2 = rayon de la 2^o face

n = indice de la lentille

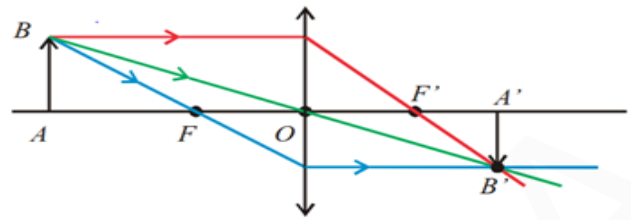
n_0 = indice du milieu



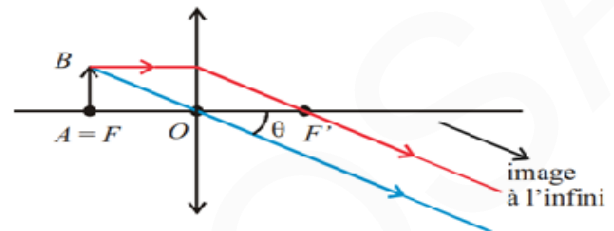
6-Position de l'image selon la position de l'objet

1. Lentille convergente : 3 cas se présentent.

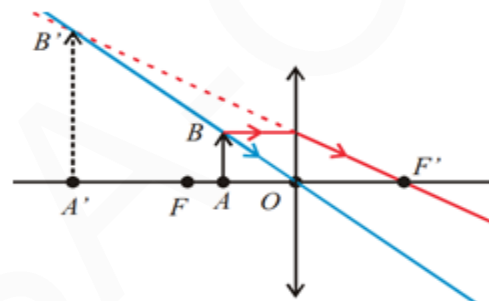
1° Cas : objet avant $F \rightarrow$ image après F'
(réelle renversé).



2° Cas : objet sur $F \rightarrow$ image à l'infini

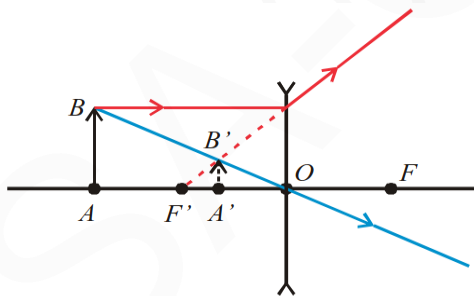


3° Cas : objet après $F \rightarrow$ image avant l'objet
(image virtuelle)



2. Lentille divergente :

Dans le cas d'une lentille divergente, quelle que soit la position de l'objet l'image est virtuelle, plus petite et entre le foyer image F' et le centre de la lentille O .



7-Association des lentilles : deux lentilles C_1 et C_2 séparées par une

distance e peuvent être remplacées par une lentille équivalente de vergence donnée par

$$C_{eq} = C_1 + C_2 - e.C_1.C_2$$

