

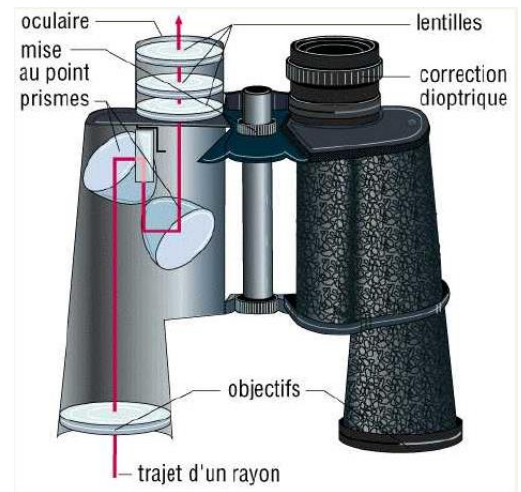
## Chapitre 4 : Lentilles Minces.

### 1. Les Lentilles Minces :

#### 4.1 Généralités :

Les lentilles sont présentes dans les appareils d'optique les plus courants comme les lunettes de vue, les lunettes astronomiques, les microscopes, les objectifs d'appareil photo, les jumelles, les endoscopes etc. Elles sont utilisées pour former des images par réfraction dans ces instruments.

Le but de ce chapitre est d'étudier uniquement les lentilles sphériques minces dans l'approximation de Gauss, et les applications des lentilles minces à quelques systèmes optiques seront vues dans les chapitres suivants.



#### 4.2 Définition D'une Lentille :

En optique, une lentille est un milieu homogène transparent rigide en verre ou en plastique, d'indice de réfraction ( $n_{lent}$ ), limité par deux dioptries dont l'un est au moins sphérique. La lentille a la particularité de pouvoir dévier la trajectoire des rayons lumineux par double réfraction.

On distingue les lentilles sphériques et les lentilles cylindriques.

##### a- Les lentilles sphériques :

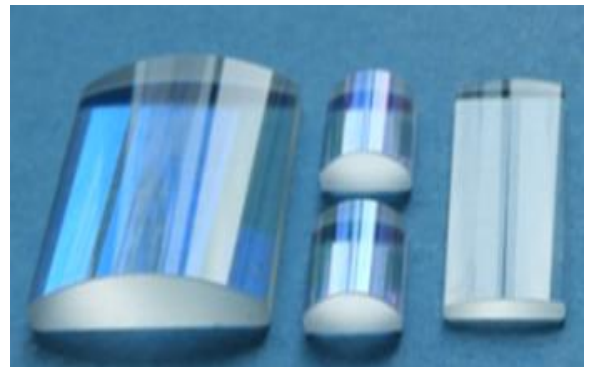
Ce sont des calottes sphériques transparentes, des sphères de rayons de courbures ( $R$ ) constants. Comme exemple on peut citer les loupes qui nous permettent de grossir l'image de l'objet afin de distinguer ses détails.



##### b- Les lentilles cylindriques :

Les lentilles cylindriques sont formées de cylindre homogène et transparent, elles sont utilisées en optique et permettent un grossissement de l'image sur un seul axe, elles sont utilisées pour corriger la taille des images dans un seul sens (correction de l'astigmatisme).

Selon l'épaisseur de la lentille, on distingue les lentilles minces et les lentilles épaisses. Les lentilles minces ont une épaisseur très petite devant les rayons de courbures de ses faces.



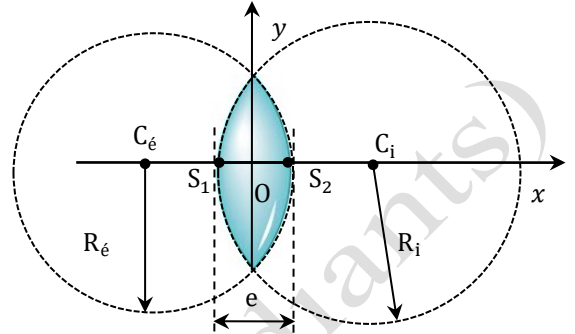
Lentilles cylindriques

De nombreux domaines d'activité (sciences de la vie, l'industrie, etc..) utilisent des lentilles d'optiques. Dans ce chapitre on va aborder uniquement les lentilles sphériques minces dans le cas de faibles incidences.

### 4.3 Aspect Géométrique Et Notations.

Afin de se familiariser avec les différentes notations que l'on va rencontrer souvent dans ce cours, considérons comme exemple, une **lentille biconvexe**, de rayons de courbure différents.

- **(x)** : **Axe principal** appelé aussi axe optique, par convention, on l'oriente dans le sens de propagation de la lumière (de gauche à droite), et on choisit le point (O) centre de la lentille comme origine de cet axe.
- **(S<sub>1</sub>)** : **Le sommet** de la face d'incidence, il représente l'intersection de l'axe optique (x) avec la face d'incidence. **(S<sub>2</sub>)**, **le sommet d'émergence**, c'est l'intersection de l'axe (x) avec la face d'émergence de la lumière.
- **(R<sub>i</sub>)** et **(R<sub>é</sub>)**, sont respectivement **les rayons de courbure** des faces d'incidence et d'émergence du rayon lumineux.
- **(y)** : **l'axe de symétrie de la lentille**, il passe par le centre (O), appelé le plan de la lentille. Il est toujours perpendiculaire à l'axe optique, et permet de repérer avec exactitude les sommets de la lentille (S<sub>1</sub>) et (S<sub>2</sub>).
- La distance ( $\overline{S_1 S_2} = e$ ) définit l'épaisseur de la lentille. Si elle est négligeable devant les rayons de courbure des faces de la lentille, **la lentille est dite mince**.
- Il faut signaler aussi que toutes **les distances que l'on va retrouver à la suite sont algébriques**, elles sont soit positives ou négatives.



Selon la forme géométrique des faces de la lentille, on retrouve deux types de lentilles. Les lentilles convergentes les lentilles divergentes.

### 4.4 Lentilles Convergentes Minces :

Les lentilles convergentes ont le pouvoir de concentrer l'énergie de la lumière qui les traverse. Ces **lentilles sont plus épaisses en leur milieu qu'à leurs extrémités**. On peut aussi distinguer ces lentilles par leur effet loupe, elles permettent pour des positions particulières de l'objet de grossir son image.

**Ces lentilles convergentes sont dites à bords minces.**

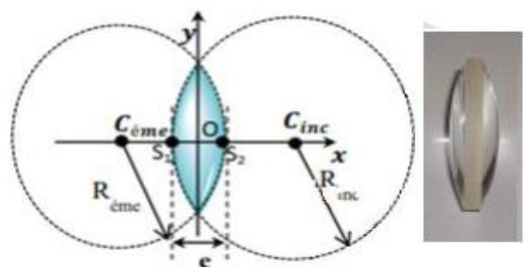
#### 4.4.1 Forme Géométrique Des Lentilles Convergentes :

Les lentilles convergentes présentent trois formes géométriques différentes.

##### a. Lentille De Forme Biconvexe :

La face d'incidence et la face d'émergence de ce type lentille sont bombées. Elle est généralement schématisée par l'intersection de deux dioptries sphériques convexes.

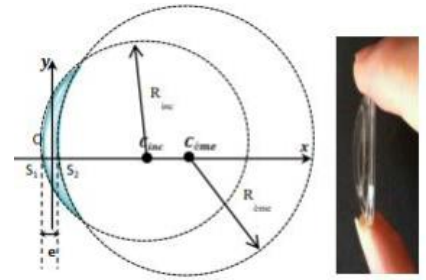
Les rayons de courbures de ses facettes peuvent être égaux.



### b. Lentille Ménisque Convergent :

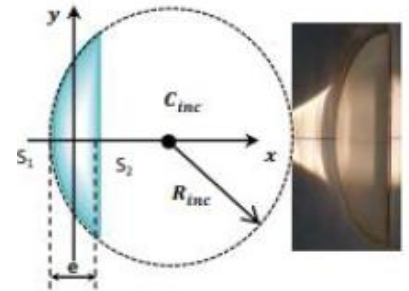
L'une des faces de cette lentille est bombée l'autre est concave. Elle est schématisée par l'intersection de deux sphères.

Cette forme géométrique est utilisée comme lentille de contact pour corriger les amétropies, elle adhère parfaitement à la cornée.



### c. Lentille De Forme Plan-Convexe :

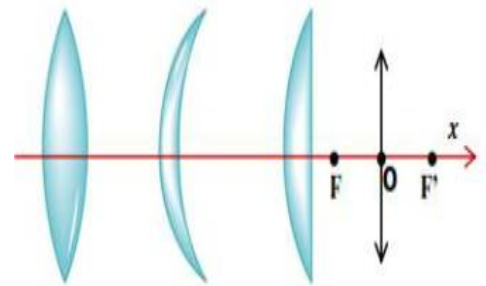
Une des faces de cette lentille est plane, l'autre est bombée. C'est le résultat de l'intersection d'une sphère avec un plan.



## 4.4.2 Schématisation Des Lentilles Convergentes :

Les trois formes géométriques précédentes des lentilles convergentes seront schématisées par :

- **Un axe principal (x)**, il représente le sens de propagation de la lumière, il est dit axe optique.
- **Un centre optique(O)**, il correspond au centre géométrique du système optique.
- **Une lentille convergente**, représenté par un segment de droite.
- **Un foyer principal image (F')** et **un foyer principal objet (F)**.



## 4.5 Lentille Divergente Mince :

Les lentilles divergentes ont le pouvoir de disperser l'énergie de la lumière qui les traverse. Ces lentilles sont plus épaisses en leurs extrémités qu'en leur centre. En regardant un objet à travers ces lentilles, l'image formée est de taille réduite.

Les lentilles divergentes minces, sont à bords épais.

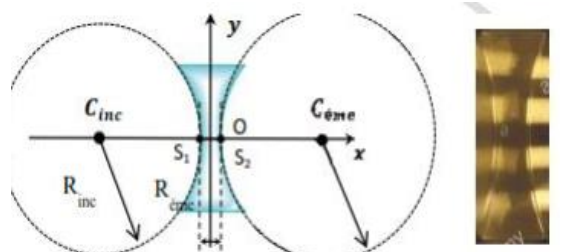
### 4.5.1 Forme Géométrique Des Lentilles Divergentes :

On distingue aussi trois formes géométriques des lentilles divergentes.

#### a. Lentille Biconcave :

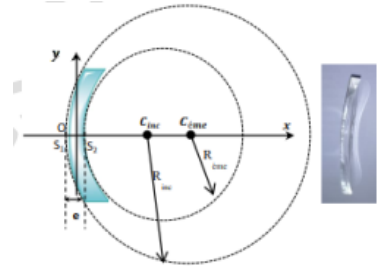
Les deux faces de cette lentille sont concaves. Cette forme géométrique est schématisée par deux sphères qui ne se coupent pas, voir schéma ci-contre.

Les rayons de courbures des deux faces de la lentille peuvent être égaux.



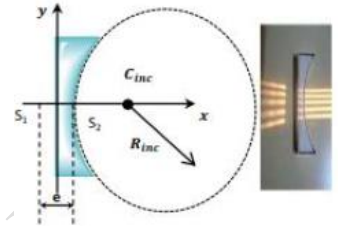
### b. Lentille Ménisque Divergent :

L'une des faces de cette lentille est concave l'autre est convexe. Voir le schéma ci-contre.



### c. Lentille Plan-Concave :

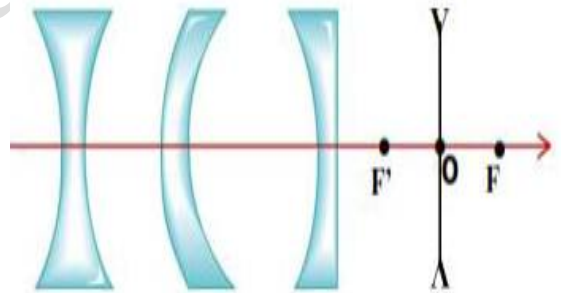
Cette forme possède une face concave et une autre plane. Voir le schéma ci-contre.



## 4.5.2 Schématisation Des Lentilles Divergentes :

Comme dans le cas des lentilles convergentes, les trois formes géométriques précédentes des lentilles divergentes seront schématisées par :

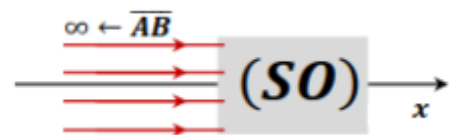
- **Un axe principal(x)**, l'axe optique, il représente aussi le sens de propagation de la lumière.
- **Un centre optique(O)**, qui correspond au centre géométrique du système optique.
- **Une lentille divergente**, représenté par un segment de droite, ses bords sont épais.
- **Un foyer principal image (F')** et un **foyer principal objet(F)**.



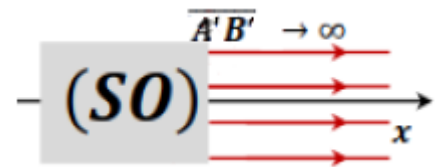
## 4.6 Foyers Principaux D'une Lentille :

### 4.6.1 Remarques Préliminaires :

- Les rayons lumineux incidents qui arrivent parallèlement à l'axe principal (x), d'un système optique quelconque, sont considérés comme issus d'un objet ( $\overline{AB}$ ) rejeté à l'infini sur cet axe.



- Les rayons lumineux qui émergent parallèlement à l'axe optique d'un système quelconque vont former une image ( $\overline{A'B'}$ ) rejeté à l'infini sur cet axe.



- Le terme « à l'infini » indique, dans la pratique, une distance très grande devant toutes les dimensions caractéristiques du système optique.

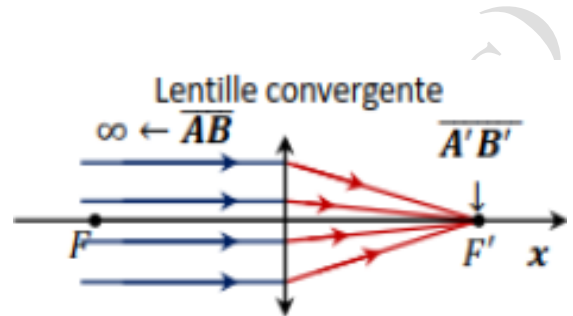
#### 4.6.2 Foyer Principal Image :

##### a. Observation dans le cas d'une lentille convergente :

Soit un faisceau de rayons lumineux, issu d'un objet très éloigné (rejeté à l'infini). On peut prendre comme exemple le cas du soleil qui éclaire une lentille quelconque. Les rayons lumineux qui arrivent sur cette lentille sont parallèles à l'axe optique ( $x$ ).

Nous pouvons observer, dans le cas d'une lentille convergente (loupe par exemple), les rayons lumineux qui émergent de la lentille convergent en un seul point, ce point se trouve derrière la lentille.

Ce point de convergence de la lumière émergente est appelé, **Foyer Principal Image**, on le note ( $F'$ ). Il représente l'**image ponctuelle réelle** d'un **objet réel rejeté à l'infini**. Voir le schéma ci-contre.

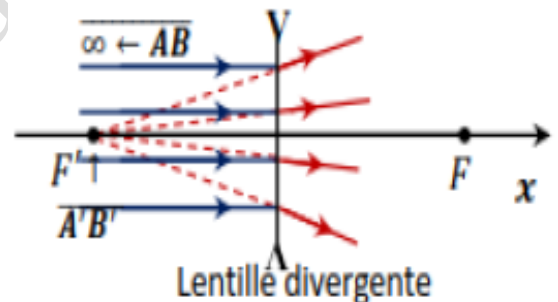


##### b. Observation dans le cas d'une lentille divergente :

Dans le cas d'une lentille divergente, les rayons lumineux issus d'un objet très éloignés (soleil par exemple) divergent dans toutes les directions lorsqu'ils traversent la lentille. Mais ces directions se rencontrent toutes en un point qui se trouve devant la lentille.

Ce point de divergence de la lumière émergente, est appelé aussi **le foyer principal image**, noté aussi ( $F'$ ).

Ce point représente l'**image ponctuelle Virtuelle** d'un **objet réel rejeté à l'infini**.



##### c. Définition Du Foyer Principal Image (F.P.I):

La position de l'image formée par une lentille, d'un objet rejeté à l'infini, définit le foyer principal image ( $F'$ ). Cette image est réelle pour les lentilles convergentes, virtuelle pour les lentilles divergentes.

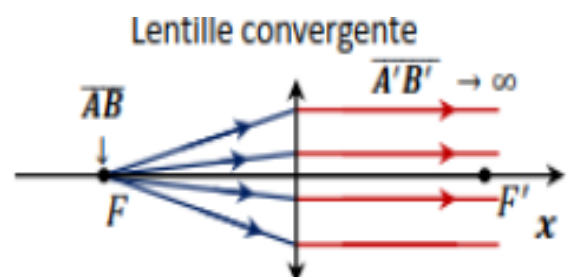
#### 4.6.3 Foyer Principal Objet :

##### a. Observation dans le cas d'une lentille convergente :

Soit un faisceau lumineux, issu d'une source ponctuelle placée sur l'axe optique ( $x$ ) en un point ( $F$ ) symétrique du foyer principal image ( $F'$ ) par rapport au centre ( $O$ ).

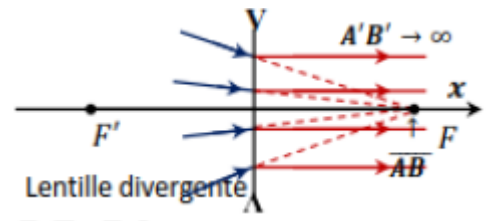
Les rayons lumineux qui pénètrent dans la lentille convergente sortent de la lentille parallèlement à l'axe optique.

Cette position particulière de l'objet est appelée, **foyer principal objet** noté ( $F$ ). La lentille convergente forme pour cette position, une image **réelle rejetée à l'infini**. Voir le schéma ci-contre.



### b. Observation dans le cas d'une lentille divergente :

Si l'on éclaire une lentille divergente avec un faisceau lumineux convergent, et les rayons lumineux se rencontrent en un point (F) symétrique de (F') par rapport à (O), nous remarquons que la lumière qui émerge de la lentille est parallèle à l'axe optique. Ce point (F) est le **foyer principal objet** de la lentille.



### c. Définition :

La position de l'objet par rapport à une lentille, qui donne une image ponctuelle rejetée à l'infini, définit le **foyer principal objet (F)**. Ce foyer **est réel** pour une lentille **convergente**, **virtuel** pour une **lentille divergente**.

### d. Remarque à retenir :

- Le foyer principal image (F') et le foyer principal objet (F) sont symétriques par rapport au centre (O) d'une lentille ( $|\overline{OF}| = |\overline{OF'}|$ ).
- Ces foyers sont réels pour les lentilles convergentes, virtuels pour les divergentes.
- Tout rayon lumineux incident, parallèle à l'axe (x) d'une lentille, émerge de la lentille convergente en passant (F'). Alors que dans le cas d'une divergente c'est la direction du rayon émergent qui passe par (F').
- Tous rayon incident, passant par (F) d'une lentille convergente, émerge de la lentille parallèlement à l'axe optique (x). Alors que dans une lentille divergente la direction du rayon incident passant par (F) émerge de la lentille divergente parallèlement à l'axe optique.

## 4.7 Axes Secondaires, Plan focaux Et Foyers Secondaires :

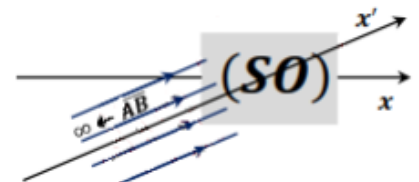
### 4.7.1 Axes Secondaires :

#### a. Définition :

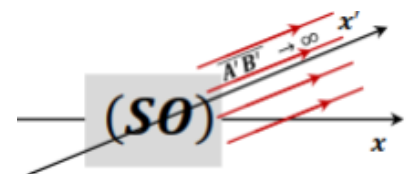
Tout rayon lumineux passant par le centre optique (O) d'une lentille n'est pas dévié, sa direction est dite **axe secondaire noté (x')**.

#### b. Remarques Préliminaires :

Les rayons lumineux incidents parallèles à un axe secondaire sont issus d'un objet rejeté à l'infini sur cet axe. Voir le schéma ci-contre.



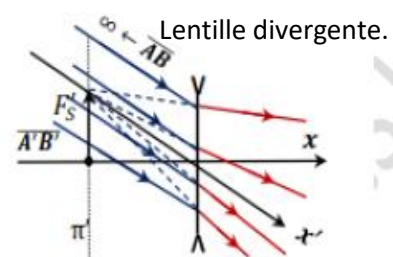
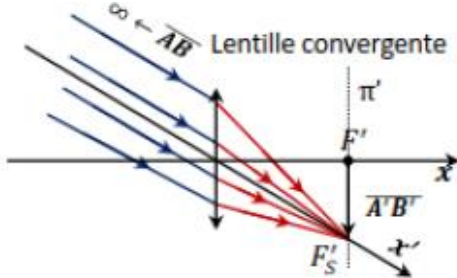
Les rayons lumineux qui sortent parallèlement à un axe secondaire forment une image rejetée sur cet axe à l'infini. Voir le schéma ci-contre.



#### 4.7.2 Plan Focal Image, Foyers Secondaires Images :

Le **Plan Focal Image, noté ( $\pi'$ )** est le plan perpendiculaire à l'axe principal ( $x$ ) passant par le **Foyer Principal Image**.

L'intersection de l'axe secondaire ( $x'$ ) avec le plan focal image donne la position du **Foyer Secondaire Image ( $F'_S$ )**. Il est défini de la même manière que dans le cas du **Foyer Principal Image**, par la position de l'image formée par la lentille lorsque les rayons lumineux sont issus d'un objet rejeté à l'infini sur l'axe secondaire ( $x'$ ).

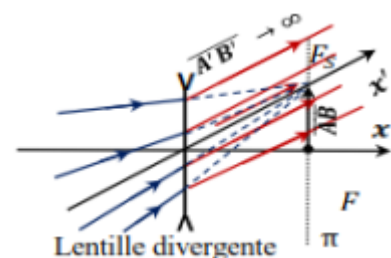
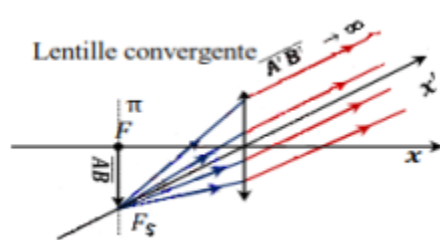


L'ensemble des **Foyers Secondaires Images ( $F'_S$ )** définit le **Plan Focal Image ( $\pi'$ )**.

#### 4.7.3 Plan Focal Objet, Foyer Secondaires Objet :

Le **Plan Focal Objet, noté ( $\pi$ )** est un plan perpendiculaire à l'axe optique ( $x$ ) passant par le **Foyer Principal Objet**.

L'intersection de l'axe secondaire ( $x'$ ) avec le plan focal objet donne la position du **Foyer Secondaire Objet ( $F_S$ )**. Il est défini de la même manière que dans le cas du **foyer principal Objet**, par la position de l'objet par rapport à la lentille, donnant une image rejetée à l'infini sur cet axe ( $x'$ ).



L'ensemble des **Foyers Secondaires Objet ( $F_S$ )** définit le **Plan Focal Objet ( $\pi$ )**.

### 4.8 La Vergence D'une Lentille, Et La Distance Focale :

#### 4.8.1 Définition :

La distance qui sépare le centre optique (**O**) d'une lentille de son **Foyer Principal Image ( $F'$ )** définit la **distance focale de la lentille**. Elle est notée ( $OF'$ ), appelée aussi la **focalité de la lentille**.

La focalité de la lentille dépend de ses caractéristiques géométriques (rayons de courbures), et les indices de réfraction.

Son expression est donnée par :

$$C = \frac{1}{OF'} = \left( \frac{n_{lent}}{n_{ext}} - 1 \right) \times \left( \frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_e} \right)$$

$n_{lent}$  : indice de réfraction de la lentille.  
 $n_{ext}$  : indice de réfraction du milieu extérieur.  
 $R_i$  : rayon de courbure de la face d'incidence.  
 $R_e$  : rayon de courbure de la face d'émergence.  
 $C$  : est appelée la vergence de la lentille.

#### 4.8.2 Remarque :

- La vergence ( $C$ ) d'une lentille convergente est positive, celle d'une lentille divergente est négative.
- Lorsque la lentille baigne dans un milieu moins réfringent ( $n_{lent} > n_{ext}$ ), la lentille garde sa nature. C'est-à-dire que si elle est convergente elle joue le rôle d'une lentille convergente, et si elle est divergente elle joue le rôle d'une lentille divergente.
- Lorsque la lentille baigne dans un milieu plus réfringent ( $n_{lent} < n_{ext}$ ), la nature de la lentille s'inverse. C'est-à-dire que si elle est convergente elle devient divergente, et si elle est divergente elle devient convergente.
- L'unité usuelle de la vergence d'une lentille est la dioptrie ( $\delta = m^{-1}$ ).

#### 4.9 Caractéristiques De L'image Formée Par Une Lentille :

Soit une lentille de distance focale connue ( $\overline{OF'}$ ). On place un petit objet lumineux de taille ( $\overline{AB}$ ) devant cette lentille à une distance ( $\overline{OA}$ ), déterminons les caractéristiques de l'image formée par cette lentille.

L'image formée par cette lentille est caractérisée par quatre paramètres :

- Sa position, c'est-à-dire la distance qui la sépare de la lentille, notée ( $\overline{OA'}$ ).
- Sa nature, réelle ou virtuelle.
- Sa taille ( $\overline{A'B'}$ ), plus grande ou plus petite que celle de l'objet.
- Son sens d'orientation par rapport à celui de l'objet, droite ou renversée.

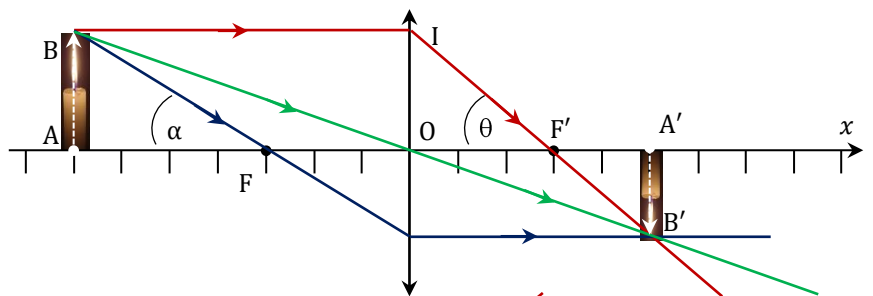
##### 4.9.1 Aspect Géométrique :

Pour déterminer les caractéristiques géométriques de l'image formée par une lentille, considérons le cas simple d'un objet réel, placé devant une lentille mince.

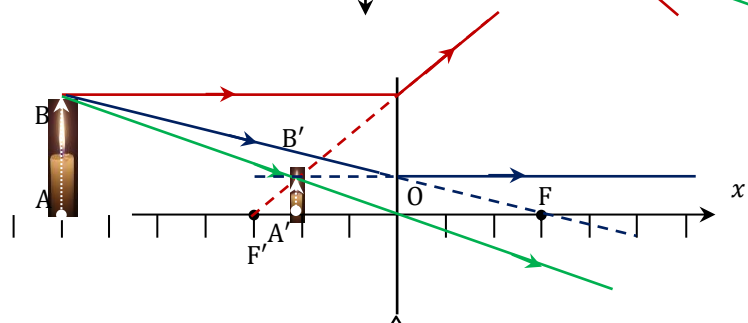
L'objet lumineux ( $\overline{AB}$ ) émet des rayons lumineux dans toutes les directions. Parmi tous ces rayons on peut tracer la marche de trois rayons lumineux particuliers.

- Le rayon lumineux issu de l'objet et qui arrive parallèlement à l'axe optique ( $x$ ), émerge en passant par ( $F'$ ) de la lentille.
- Le rayon lumineux issu de l'objet (sa direction) passant par le foyer principal objet ( $F$ ) de la lentille, émerge parallèlement à l'axe optique ( $x$ ).
- Le rayon lumineux issu de l'objet passant par le centre optique ( $O$ ) de la lentille émerge sans être dévié.

##### a. Cas D'une Lentille Convergente :



##### b. Cas D'une Lentille divergente :

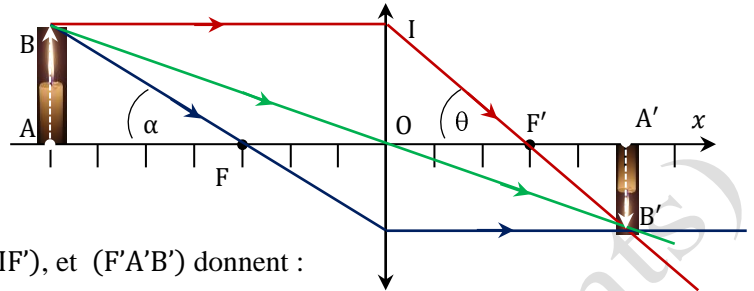


## 4.9.2 Caractéristiques De L'image Formée Par Une Lentille :

Déterminons l'expression de la position de l'image ( $\overline{OA'}$ ) formée par une lentille convergente, schéma ci-dessous.

### 4.9.2.1 Position De L'image :

#### Démonstration :



Les relations de Thalès dans le triangle (OIF'), et (F'A'B') donnent :

$$\frac{\overline{OI}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'F'}}, \text{ or } \overline{OI} = \overline{AB} \rightarrow \frac{\overline{AB}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'F'}} \dots \dots (1)$$

La distance algébrique ( $\overline{A'F'}$ ) peut être écrite en utilisant la relation de Chasles par :

$$\overline{A'F'} = \overline{A'O} + \overline{OF'} \dots \dots (2)$$

Si l'on remplace l'équation (2) dans l'équation (1), on retrouve :

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'O} + \overline{OF'}} \rightarrow \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'O} + \overline{OF'}}{\overline{OF'}} \rightarrow \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{-\overline{OA'} + \overline{OF'}}{\overline{OF'}} \dots \dots (3)$$

Les relations de Thalès dans le triangle (OAB), et (OA'B') donnent :

$$\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \dots \dots (4)$$

En combinant les deux équations (3) et (4), trouve :

$$\frac{-\overline{OA'} + \overline{OF'}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \rightarrow \frac{-\overline{OA'}}{\overline{OF'}} + 1 = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \dots \dots (5)$$

Si l'on divise tous les termes de l'équation ((5)) par ( $\overline{OA'}$ ), on obtient :

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

L'équation obtenue est appelée la relation de conjugaison, elle donne la position de l'image ( $\overline{OA'}$ ) en fonction de la position de l'objet ( $\overline{OA}$ ) ainsi que de la focalité de la lentille ( $\overline{OF'}$ ).

### 4.9.2.2 Nature De L'image :

La nature de l'image donnée par une lentille dépend de la nature de la lentille et de la position de l'objet. Pour une même lentille si l'on change la position de l'objet la nature de l'image peut changer. L'image peut être réelle ou virtuelle.

### 4.9.2.3 Coefficient De Grandissement Linéaire (Sens Et Taille De L'image) :

Le coefficient de grandissement ( $\gamma$ ) permet de déterminer analytiquement la taille de l'image ( $\overline{A'B'}$ ) ainsi que son sens d'orientation, à condition de connaître la taille de l'objet ( $\overline{AB}$ ).

Il est défini par le rapport :  $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

Le signe du coefficient de grandissement nous permet de donner l'orientation de l'image.

- Si ( $\gamma > 0$ ), l'image est droite. Orientée dans le même sens que l'objet.
- Si ( $\gamma < 0$ ) elle est orientée dans le sens opposé, elle est renversée.



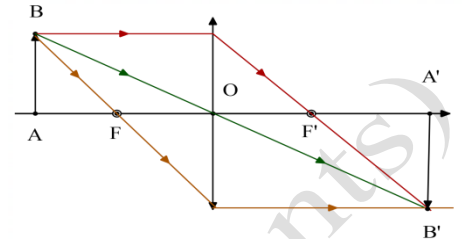
#### 4.10 Construction Géométrique (Images).

Les trois rayons lumineux particuliers cités précédemment nous permettent de déterminer les caractéristiques de l'image.

##### 4.10.1 Cas d'un objet réel et d'une image réelle (lentille convergente) :

L'image donnée par une lentille convergente d'un objet réel situé en avant de son foyer principal objet est toujours, réelle renversée. Elle peut être plus grande comme elle peut être plus petite.

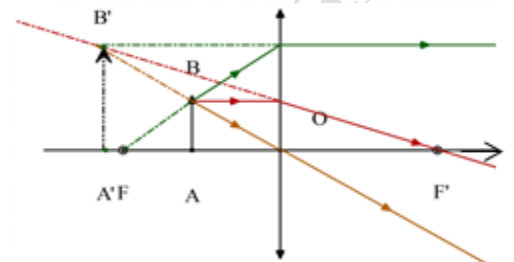
La taille de l'image est plus grande si l'objet est situé à une distance supérieure à deux fois la distance focale de la lentille. Elle est plus petite si l'objet est plus éloigné.



##### 4.10.2 Cas d'un objet réel et d'une image virtuelle (lentille convergente) :

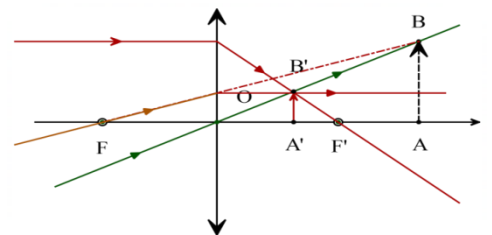
Les objets réels situés entre le foyer de la lentille convergente et son centre optique donnent des images virtuelles droites plus grandes.

Elle sont situées avant l'objet. Cette situation sera abordé davantage dans le cas de la loupe.



##### 4.10.3 Cas d'un objet Virtuel et d'une image réelle (lentille convergente) :

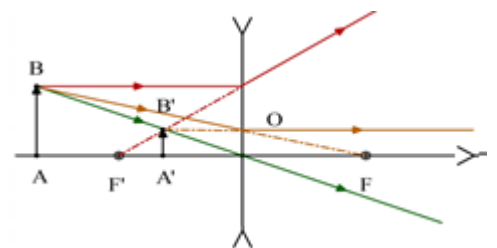
Les lentilles convergentes forment des objets virtuels des images réelles droites plus petites, ces images sont toutes situées entre le centre optique et le foyer principal image de la lentille.



##### 4.10.4 Cas d'un objet réel et d'une image virtuelle (lentille divergente) :

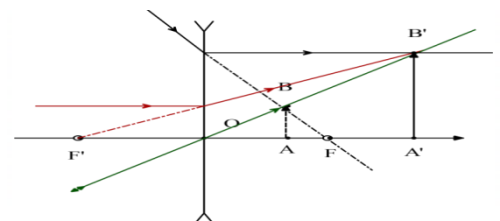
La lentille divergente forme de tout objet réel une image virtuelle, droite plus petite. Elle est située entre le centre optique et le foyer principal image de la lentille.

Cette situation sera retrouvée lorsque l'on va aborder la correction de la myopie.



##### 4.10.5 Cas d'un objet virtuel et d'une image réelle (lentille divergente) :

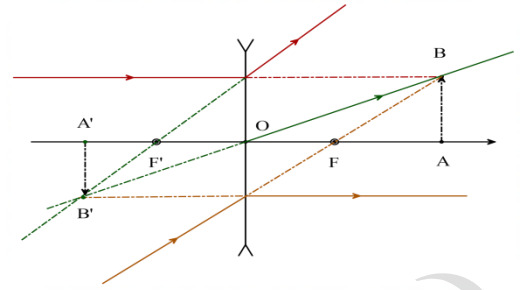
Lorsque l'objet virtuel est situé entre le centre optique de la lentille et son foyer principal objet, l'image formée est réelle, droite de plus grande taille, elle est située derrière le foyer objet de la lentille.



#### 4.10.6 Cas d'un objet virtuel et d'une image virtuelle (lentille divergente) :

Les objets virtuels situés en arrière du foyer principal objet d'une lentille divergente auront des images virtuelles renversées. Leurs tailles peuvent être plus grandes ou plus petites que celles des objets.

Elles sont plus petites si les objets sont placés à des distances supérieures au double de la distance focale de la lentille. Sinon elles sont plus grandes.



#### 4.10.7 Remarque :

Des schémas précédents on peut faire deux remarques importantes :

- Les lentilles convergentes ne donnent jamais le couple (objet virtuel-image virtuelle).
- Les lentilles divergentes ne donnent jamais le couple (objet réel-image réelle).

### 4.11 Association De Lentilles Minces :

Soit un système optique formé de plusieurs lentilles simples. Ces lentilles peuvent être convergentes ou divergentes.

#### 4.11.1 Images Intermédiaires :

Soit un système optique formé de deux lentilles. ( $L_1$ ) de centre optique ( $O_1$ ), de distance focale ( $O_1F'_1$ ) et ( $L_2$ ) de centre optique ( $O_2$ ) et de distance focale ( $O_2F'_2$ ). Ces deux lentilles sont séparées d'une distance ( $O_1O_2$ ) connue. Un objet réel (AB) est placé en avant de la lentille ( $L_1$ ).

$$AB + L_1 \rightarrow A'B' + L_2 \rightarrow A''B''$$

#### 4.11.2 Grandissement équivalent d'un système optique composé de plusieurs lentilles :

Soit un système optique formé de plusieurs lentilles. Le coefficient de grandissement du système sera calculé comme suit :

La première lentille ( $L_1$ ) donne de l'objet (AB) une première image ( $A'_1B'_1$ )

$$AB + L_1 \rightarrow A'_1B'_1 \text{ avec : } \left( \gamma_1 = \frac{O_1A'_1}{O_1A} = \frac{A'_1B'_1}{AB} \right)$$

La deuxième lentille ( $L_2$ ) donne de l'image intermédiaire ( $A'_1B'_1$ ) une deuxième image ( $A'_2B'_2$ )

$$A'_1B'_1 + L_2 \rightarrow A'_2B'_2 \text{ avec : } \left( \gamma_2 = \frac{O_2A'_2}{O_2A'_1} = \frac{A'_2B'_2}{A'_1B'_1} \right)$$

Le grandissement équivalent de l'ensemble sera :  $\gamma_{\text{équ}} = \frac{A'_1B'_1}{AB} \times \frac{A'_2B'_2}{A'_1B'_1} \times \dots = \gamma_1 \times \gamma_2 \times \dots$

Le grandissement total équivalent ( $\gamma_{\text{équ}}$ ) d'une combinaison de lentilles est le produit de tous les coefficients de grandissements ( $\gamma_i$ ) de toutes les lentilles.

#### 4.11.3 Vergence équivalente :

##### a- Système De Plusieurs Lentilles Accolées :

La vergence équivalente ( $C_{\text{équ}}$ ) d'un **ensemble de lentilles accolées** est la somme algébrique de toutes les vergences ( $C_i$ ) de toutes les lentilles.

$$C_{\text{équ}} = \sum C_i$$

### b- Système de deux lentilles séparées d'une distance (a)

La vergence équivalente de deux lentilles de vergences respectives  $(C_1)$ ,  $(C_2)$  non accolées, séparées par une distance (a), est donnée par :

$$C_{\text{équ}} = C_1 + C_2 - a \times C_1 \times C_2$$

#### 4.11.4 Analyse d'un système optique constitué de deux lentilles :

##### Exemple :

Soit un système optique composé de deux lentilles  $(L_1, L_2)$  de même axe optique et séparées par une distance (a). Déterminer les caractéristiques de l'image finale  $(A''B'')$  donnée par le système optique d'un objet réel  $(AB)$  placé en avant de la lentille  $(L_1)$ . Les deux lentilles sont convergentes, de même vergence.

##### 4.11.4.1 Calcul analytique :

Pour déterminer analytiquement les caractéristiques de l'image finale  $(A''B'')$  formée par un système optique de deux lentilles, on doit suivre les étapes suivantes :

- a- **On doit considérer** l'objet  $(AB)$  et la première lentille  $(L_1)$  et déterminer les caractéristiques de l'image intermédiaire  $(A'B')$ , sa position, sa nature, son sens d'orientation et sa taille sans se soucier de la seconde lentille.

$$AB + L_1 \rightarrow A'B'$$

L'équation de conjugaison qui permet de déterminer la position de l'image intermédiaire est :

$$\frac{1}{O_1A'} - \frac{1}{O_1A} = \frac{1}{O_1F'_1} \rightarrow O_1A'$$

- b- **L'image intermédiaire  $(A'B')$  sera considérée comme un objet** « intermédiaire » pour la seconde lentille  $(L_2)$ , on détermine sa position  $(O_2A')$  par rapport à la seconde lentille  $(L_2)$  en utilisant la relation de Chasles, et déduire sa nature.

$$O_1A' = O_1O_2 + O_2A' \rightarrow O_2A' = O_1A' - O_1O_2$$

- c- **La dernière étape consiste à déterminer les caractéristiques de l'image finale  $(A''B'')$**  formée par  $(L_2)$  en considérant l'image intermédiaire  $(A'B')$  comme objet pour cette deuxième lentille.

$$A'B' + L_2 \rightarrow A''B''$$

$$\frac{1}{O_2A''} - \frac{1}{O_2A'} = \frac{1}{O_2F'_2} \rightarrow O_2A''$$

Les images intermédiaires seront considérées comme des objets pour les lentilles suivantes. Le schéma précédent sera souvent retrouvé à la suite de ce cours.

##### 4.11.4.2 Schématiquement :

- On commence par le rayon lumineux qui passe par  $(F_1)$  (foyer principal objet de  $(L_1)$ ). Ce rayon lumineux est particulier pour  $(L_1)$ , il émerge parallèlement à l'axe  $(x)$ . Ce même rayon qui émerge de  $(L_1)$  est particulier pour  $(L_2)$ , ce qui fait qu'il émerge de  $(L_2)$  en convergent vers  $(F'_2)$ , voir le rayon en couleur verte sur le schéma.
- Pour tracer le deuxième rayon, on choisit celui qui est parallèle à  $(x)$ , en émergeant de  $(L_1)$  il converge vers  $(F'_1)$ . Ce rayon n'est pas particulier pour  $(L_2)$ , son tracé nécessite la connaissance de la position de son foyer secondaire image  $(F'_1)_S$ . Pour le trouver, on trace l'axe secondaire  $(x')$  parallèle au rayon quelconque, le point d'intersection avec le plan focal image est le  $(F'_1)_S$ .
- On fait la même chose pour le troisième rayon.

