



Leçon 9

LES LENTILLES SPHÉRIQUES MINCES



Activité

On considère l'image ci-contre.

- (a) Dans quel domaine de la physique, peut-on utiliser cet appareil ?
 (b) Donner alors un de ses rôles.



ACTIVITÉS

Objectifs

- Définir et classer les lentilles.
- Présenter différemment, les éléments caractéristiques des lentilles.
- Utiliser les règles de construction et les formules des lentilles pour déterminer les caractéristiques d'une image.
- Définir focométrie et présenter quelques méthodes focométriques.
- Énoncer et appliquer le théorème des vergences.
- Énoncer les conditions d'approximation de Gauss.

1. Définition et classification des lentilles

1.1. Définition

- Une **lentille sphérique** est un milieu transparent et homogène, limité par deux surfaces dont l'une au moins est sphérique.
- Une lentille sphérique résulte de l'association de deux **dioptries**⁽¹⁾ sphériques de même axe de symétrie de révolution : l'**axe optique** (SP) sur la figure 9.1 ci-dessous.

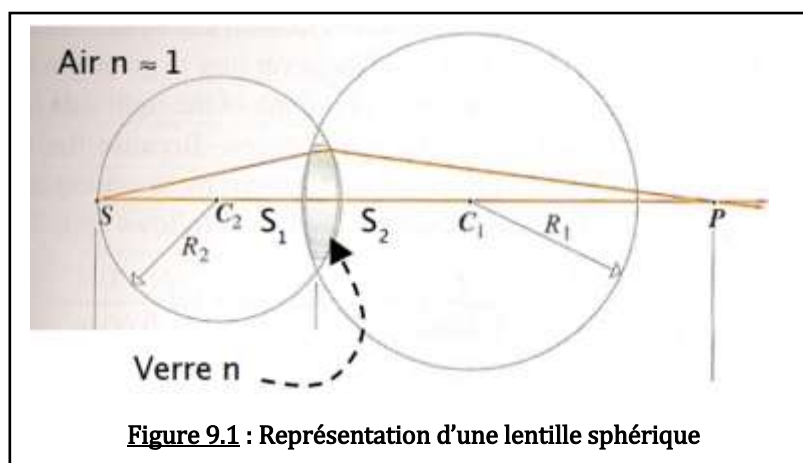


Figure 9.1 : Représentation d'une lentille sphérique

- Soient $e = S_1S_2$, l'épaisseur de la lentille ; $d = C_1C_2$, la distance entre les centres de chaque sphère ; R_1 et R_2 les rayons de courbure des sphères.
 Une **lentille sphérique** est dite mince, lorsque son épaisseur e est négligeable devant es rayons de courbure. On a alors :

$$\begin{cases} e \ll C_1 S_1 \\ e \ll C_2 S_2 \\ e \ll d \end{cases} \quad (9.1)$$

Dans ces conditions, on peut dire que : $S_1 \approx S_2 \approx 0 =$ **centre optique**.

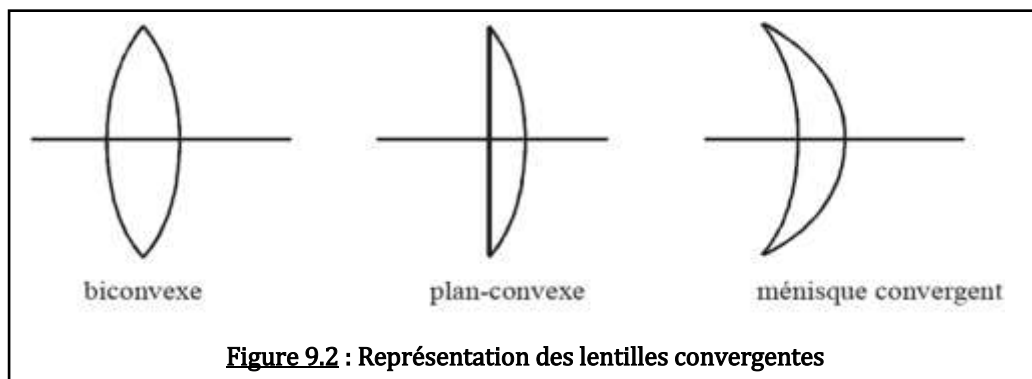
Remarque

Pour un plan, le rayon de courbure est égal à l'infini : $R = \infty$.

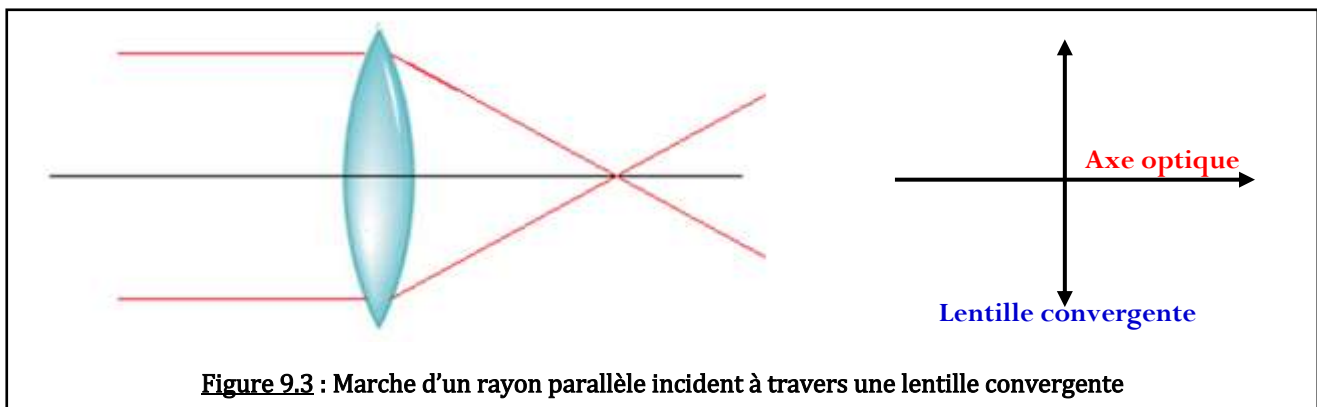
1.2. Classification des lentilles

1.2.1. Les lentilles à bords minces (convergentes)

- Une lentille sphérique est dite **convergente**, lorsqu'elle donne d'un faisceau de rayons parallèles ou cylindriques, un **faisceau convergent**.

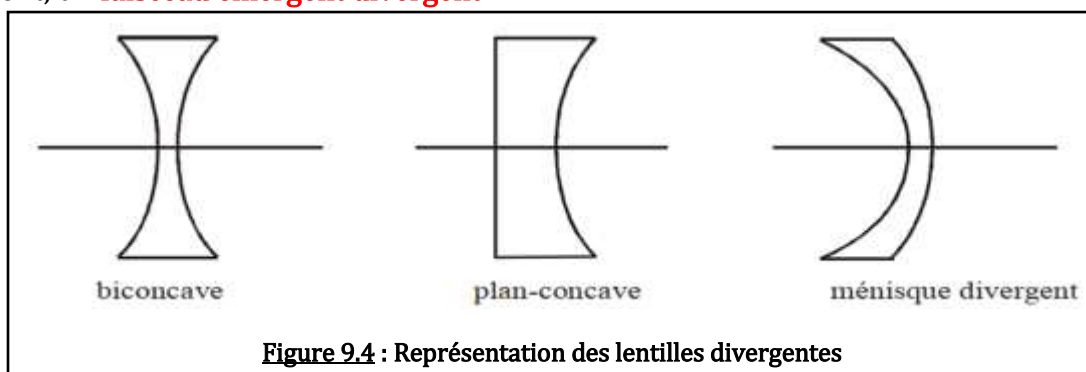


- En d'autres termes, est dite **lentille convergente**, toute lentille qui donne d'un rayon incident parallèle, un rayon émergent se rapprochant de l'axe optique.

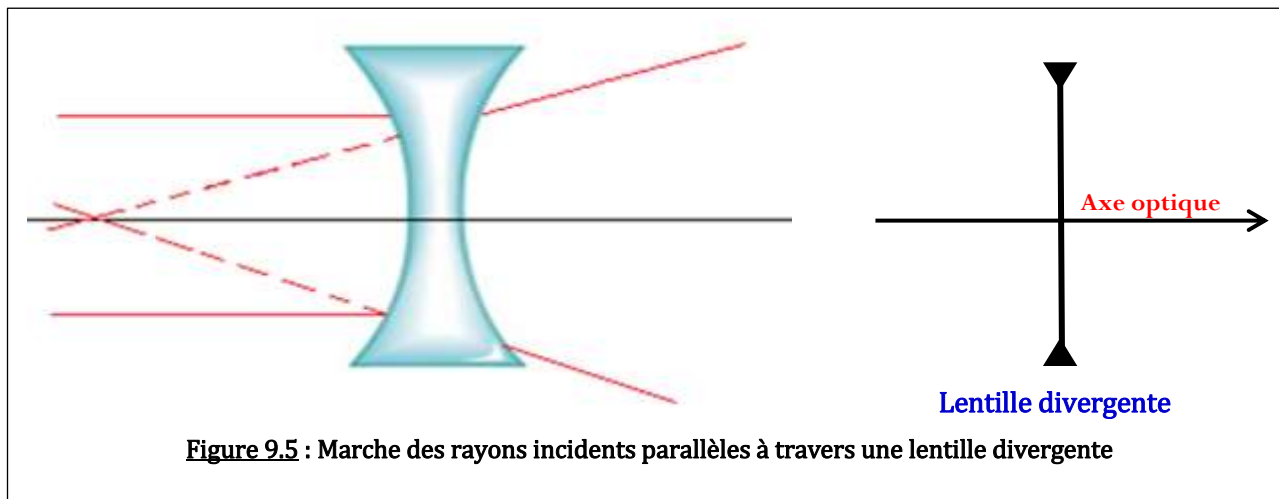


1.2.2. Les lentilles à bords épais (divergentes)

- Une lentille sphérique est dite **divergente** lorsqu'elle donne d'un faisceau de rayons cylindriques incident, un **faisceau émergent divergent**.



- En d'autres termes, une lentille sphérique est dite **divergente**, lorsqu'elle donne d'un rayon incident parallèle, un rayon émergent qui s'éloigne de l'axe optique.

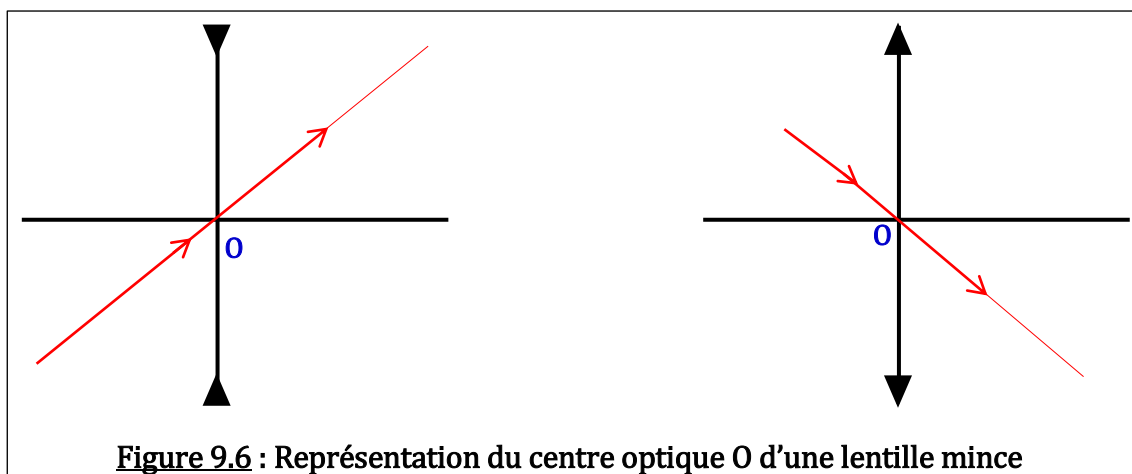


2. Les éléments caractéristiques d'une lentille

Quel que soit le type de lentille étudié, celui-ci est caractérisé par certains éléments à savoir :

2.1. Le centre optique

C'est le point **O** de l'axe optique à travers lequel, tout rayon incident passant par ce point, n'est pas dévié.



2.2. Les foyers principaux

(a) Le foyer principal objet

- C'est le point **F** de l'axe principal tel que tout rayon lumineux incident passant par ce point (**lentille convergente**) ou se dirigeant vers ce point (**lentille divergente**), émerge de la lentille parallèlement à l'axe.
- C'est aussi le point objet de l'axe optique dont l'image se trouve à l'infini dans la direction de l'axe optique.

(b) Le foyer principal image

- C'est le point **F'** de l'axe principal tel que tout rayon lumineux incident, parallèle à l'axe principal, émerge de la lentille en passant par ce point (**cas des lentilles convergentes**), soit en semblant provenir de ce point (**cas des lentilles divergentes**).

- C'est aussi l'image d'un point situé à l'infini et émettant des rayons parallèles à l'axe optique.

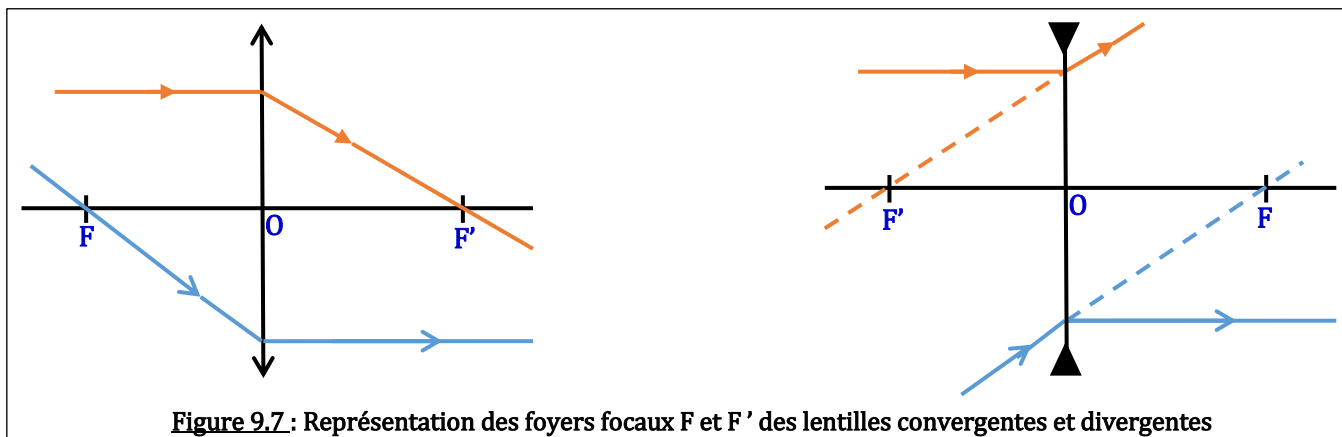


Figure 9.7 : Représentation des foyers focaux F et F' des lentilles convergentes et divergentes

Remarque

- ✍ Les points F et F' sont symétriques par rapport à O .
- ✍ Les foyers principaux image et objet d'une lentille convergente sont **réels** car les rayons lumineux passent effectivement par ces points.
- ✍ Les foyers principaux image et objet d'une lentille divergente sont **virtuels** car les rayons lumineux semblent provenir de ces points.

2.3. Les plans focaux

- Un plan focal est un plan perpendiculaire à l'axe principal et qui contient un foyer principal.
- Si le plan focal passe par F , alors, le plan focal est **objet**.
- Si le plan passe par F' , alors le plan focal est dit **image**.
- Si la lentille est convergente, alors, le plan focal est **réel**.
- Si la lentille est divergente, alors le plan focal est **virtuel**.

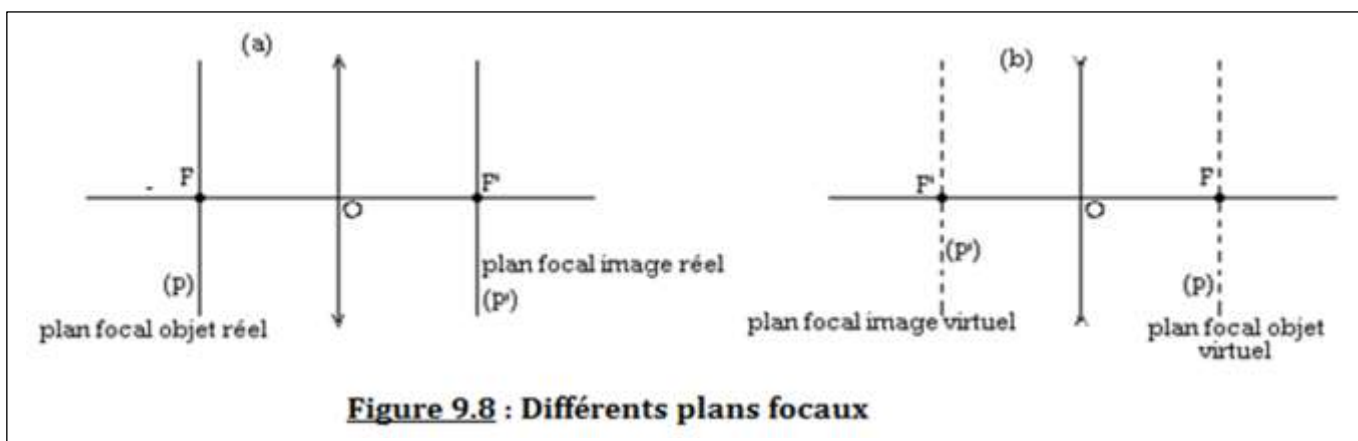


Figure 9.8 : Différents plans focaux

2.4. Axes et foyers secondaires

- On appelle **axe secondaire**, toute droite autre que l'axe principal de la lentille, passant par le centre optique de ladite lentille.
- Le **foyer secondaire** de la lentille, est le point d'intersection entre le plan focal et un axe secondaire.

Sur la figure 9.9 ci-dessous, F_1, F'_1 sont des foyers secondaires pour ces lentilles.

- Un rayon lumineux issu d'un foyer secondaire F_1 , émerge de la lentille parallèlement à l'axe secondaire.
- Un rayon lumineux parallèlement à l'axe secondaire, émerge de la lentille en passant par le foyer secondaire image.

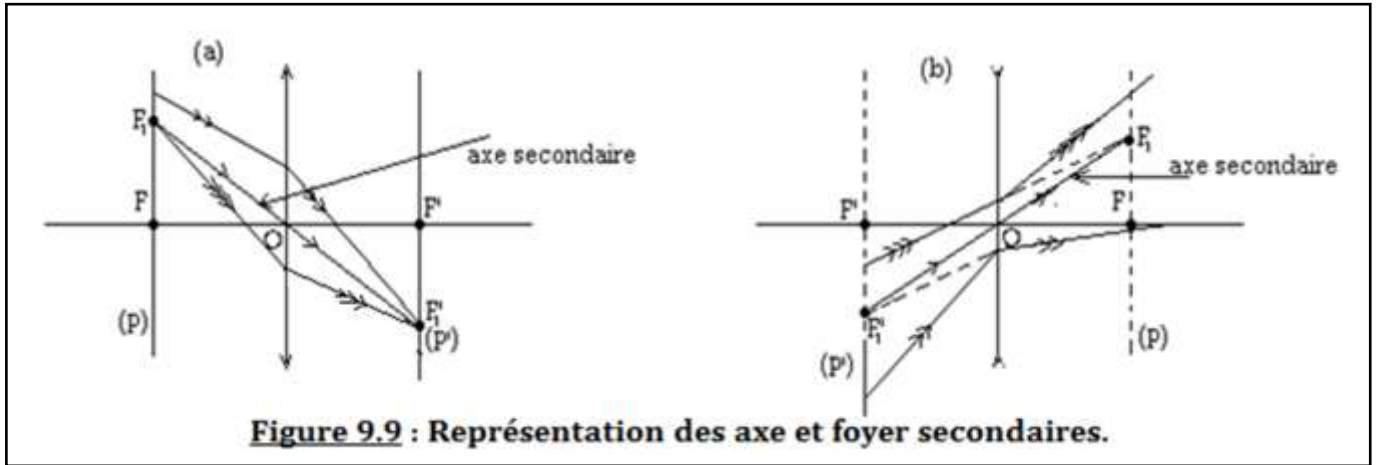


Figure 9.9 : Représentation des axes et foyers secondaires.

2.5. Distance focale et vergence d'une lentille

2.5.1. Distance focale

- La **distance focale f** d'une lentille, est la mesure algébrique du segment $[OF']$.
- La distance focale est généralement notée : $f' = \overline{OF'}$
- On remarque aussi (sur les figures 9.7) que :

$$\overline{OF'} = -\overline{OF} \leftrightarrow f' = -f \quad (9.2)$$

- La relation 9.2 justifie la symétrie de F et F' par rapport à O. La distance focale s'exprime en mètre (m).

2.5.2. Vergence d'une lentille

- L'inverse **C** de la distance focale est appelée **vergence** de la lentille et s'exprime en **dioptries** (δ) :

$$C = \frac{1}{\overline{OF'}} = -\frac{1}{\overline{OF}} \quad (9.3)$$

Conséquence liée à 9.3:

- Si $C < 0 \Rightarrow$ lentille **divergente**
- Si $C > 0 \Rightarrow$ lentille **convergente**

- Pour une lentille mince d'indice de réfraction n, de rayons de courbure R_1 et R_2 (exprimés en mètres), la vergence est donnée par :

$$C = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (9.4)$$

Remarque

- Si l'une des faces de la lentille est un plan, la formule (9.4) deviendra alors :

$$C = \frac{n-1}{R} \quad (9.5)$$

- Si les rayons sont identiques i.e. si $R_1 = R_2 = R$, alors (9.4) deviendra alors :

$$C = \frac{2 \times (n-1)}{R} \quad (9.6)$$

- $R > 0$, si la face est convexe (**qui représente la face bombée d'une lentille**)
- $R < 0$, si la face est concave (**qui représente la face creuse d'une lentille**).

2.5.3. Les techniques focométriques

- La **focométrie** est l'ensemble des techniques qui permettent de déterminer la vergence d'une lentille.

- Certaines de ces techniques sont applicables aux deux types de lentilles (convergente et divergente) d'autres ne le sont qu'aux seules lentilles convergentes.
- Les plus connues sont :
 - La **méthode par neutralisation** (applicable aux deux types de lentilles)
 - La **méthode d'auto collimation** (applicable aux lentilles convergentes)
 - La **méthode de l'objet à l'infini** (applicable aux lentilles convergentes)
 - La **méthode de SILBERMANN** (applicable aux lentilles convergentes)
 - La **méthode de BESSEL** (applicable aux lentilles convergentes)
 - La **méthode de BADAL** (applicable aux deux types de lentilles)
 - La **méthode des points conjugués** (applicable aux deux types de lentilles)

(a) Méthode par neutralisation

- On accole à une lentille L de vergence C, inconnue, une lentille L' de vergence C' de telle sorte que l'ensemble se comporte comme une lame à faces parallèles. On obtient ainsi d'un objet AB, une image virtuelle A'B'.
- On déplace ensuite perpendiculairement à l'axe principal, le système des deux lentilles. On obtient un système de vergence nulle lorsque l'image A'B' reste immobile.
- La vergence C, est alors égale à la - C' : $C = -C'$.

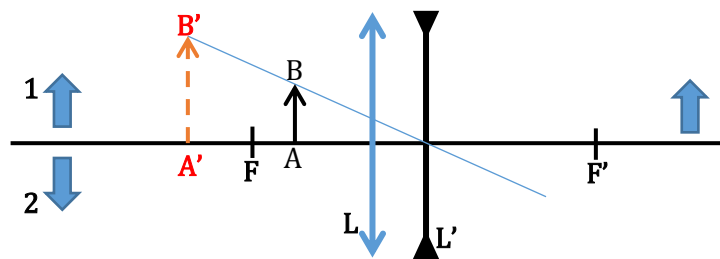


Figure 9.10 : Méthode de neutralisation

(b) Méthode d'auto collimation

- On utilise un miroir M devant lequel on place la lentille L de distance focale f inconnue ; on forme l'image d'un objet AB à travers le système miroir-lentille.
- On déplace l'ensemble {miroir ; lentille} jusqu'à ce que l'image A'B' se forme dans le plan de l'objet.
- On mesure alors la distance lentille objet. Elle correspond à la distance focale f de la lentille L.

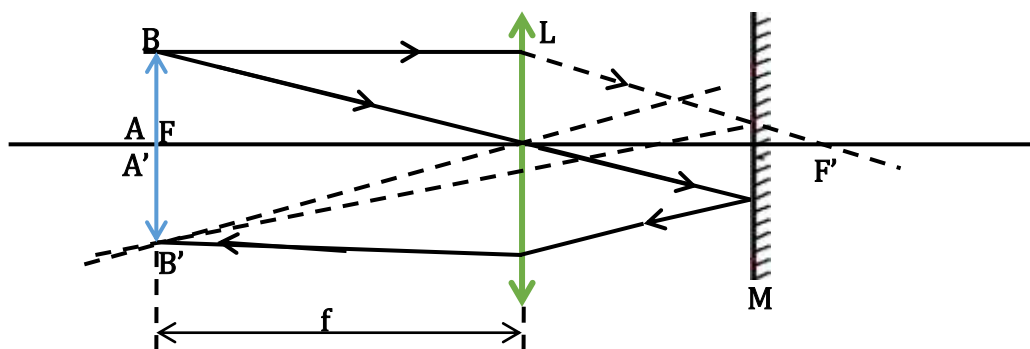


Figure 9.11 : Méthode d'auto collimation

(c) Méthode de l'objet à l'infini

- On utilise une lentille auxiliaire L pour former une image à l'infini d'un objet AB. On interpose entre l'écran et la lentille L₁, une lentille L, de distance focale f inconnue.

- La distance focale f est obtenue en mesurant la distance entre la lentille L et l'écran lorsqu'on forme sur ce dernier, une image nette de l'objet AB .

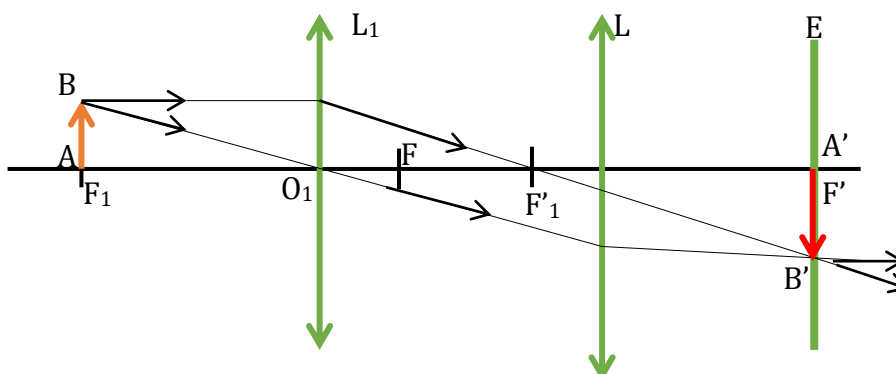


Figure 9.12 : Méthode de l'objet à l'infini

(d) Méthode de Badal

- Cette méthode est bien pratique pour mesurer la focale d'une Barlow ou de la lentille négative d'un doublet. Elle consiste à mesurer le déplacement du plan focal d'une lentille positive quand, sur le trajet de la source de rayons parallèles, on vient introduire la lentille divergente.
- La lentille 1 peut avoir une focale quelconque, compatible avec la longueur du banc, elle n'a pas besoin d'être identique à la lentille 2. La lentille 1, qui peut aussi être un objectif photographique, est située au foyer, en sorte de générer des rayons parallèles ou si l'on préfère des rayons issus d'une source située à l'infini. Une manière pratique de s'assurer qu'elle est bien au foyer, consiste à utiliser la méthode par auto collimation décrite ci-dessus.

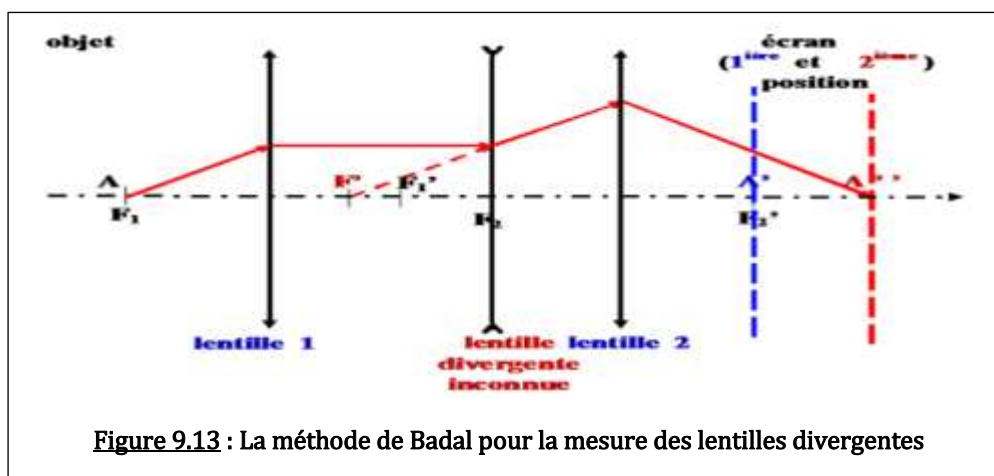


Figure 9.13 : La méthode de Badal pour la mesure des lentilles divergentes

On fait d'abord une première mesure avec la lentille 2 de focale f_2 mais sans la lentille divergente. On note une première position A' sur l'axe optique, foyer de la lentille 2. On introduit ensuite la lentille inconnue. On note alors la position d'un second foyer qui est située en arrière, en A'' . À partir de la différence « d » entre les deux foyers, A' et A'' , on déduit la focale de la lentille divergente par :

$$f_{oc} = -\frac{(f_2)^2}{d} \quad (9.7)$$

Il faut que la focale de la lentille positive 2 soit plus courte en valeur absolue que celle de la lentille divergente. C'est le cas dans un achromat. Si elles sont égales, le faisceau sera parallèle, si elle est plus longue, alors le faisceau sera divergent. Dans ces deux cas, la mesure sera impossible. On gagnera à utiliser une source grossièrement monochromatique, telle une diode LED jaune à 590 nm. On remarquera que la focale f_2 de la lentille convergente est ici au carré,

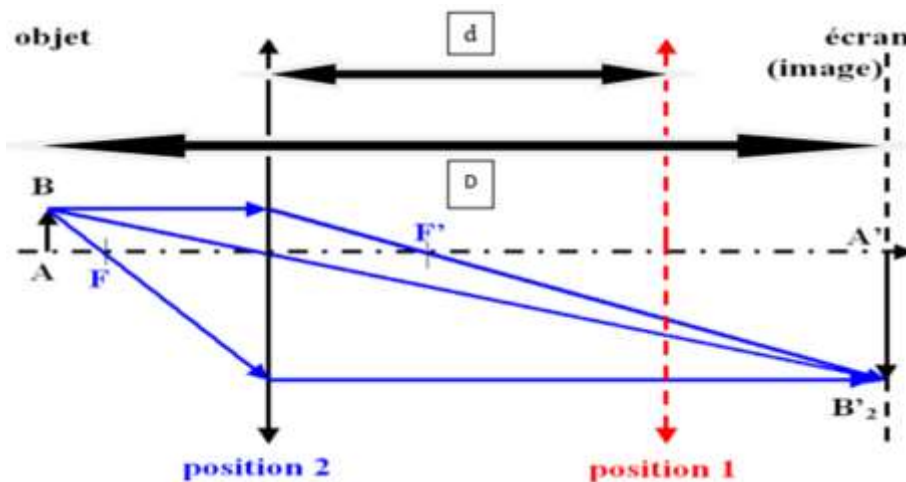
1% d'erreur sur celle-ci entraînera 2% d'erreur sur le résultat. Il est donc utile d'avoir la valeur la plus précise possible, si possible mesurée par la méthode de Bessel.

(e) Méthode de Bessel

- On impose une distance D entre un écran et un objet AB . On cherche les deux positions (1 et 2) de la lentille pour lesquelles on obtient une image $A'B'$ nette sur l'écran.
- Soit d , la distance qui sépare les positions 1 et 2. La distance focale de la lentille utilisée est donnée par la relation :

$$\overline{OF'} = \frac{D^2 - d^2}{4D} \quad (9.8)$$

- Lorsqu'il n'est pas possible d'obtenir les deux positions, on augmente la distance D , et on recommence.



FRIEDRICH WILHELM BESSEL
(1784-1846)

Figure 9.14 : Méthode des deux positions de Bessel

(f) Méthode de Silbermann

- La **méthode de Silbermann**⁽²⁾ est un cas particulier de la méthode de Bessel. On cherche, par tâtonnements, la position de l'écran et de la lentille telle que $d = 0$. La focale est alors égale à $D/4$.

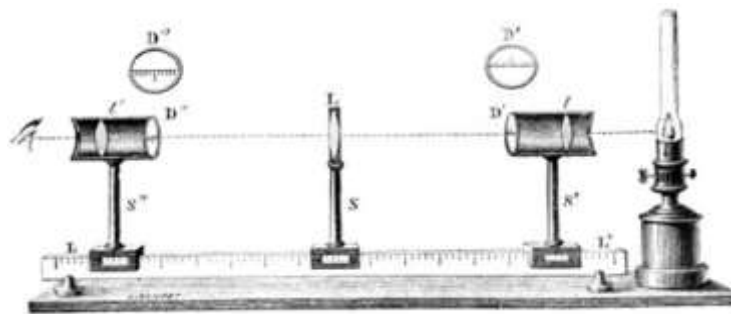


Figure 9.15 : Détection de l'égalité des distances $D'L$ et $D''L$ selon Silbermann

- La méthode de Silbermann consiste à obtenir sur un écran, une image renversée et de même taille que l'objet. La distance objet-image est égale à $4f$.

(1) **Dioptré** : C'est la surface de séparation de deux milieux transparents.

(2) **Johann-Théobald Silbermann** (1806-1865) travailla avec Pouillet et fut préparateur à la faculté des sciences, avant de devenir conservateur des collections du Conservatoire des Arts & Métiers en 1848. On lui doit un focomètre, un pyromètre, un héliostat et d'autres instruments encore.

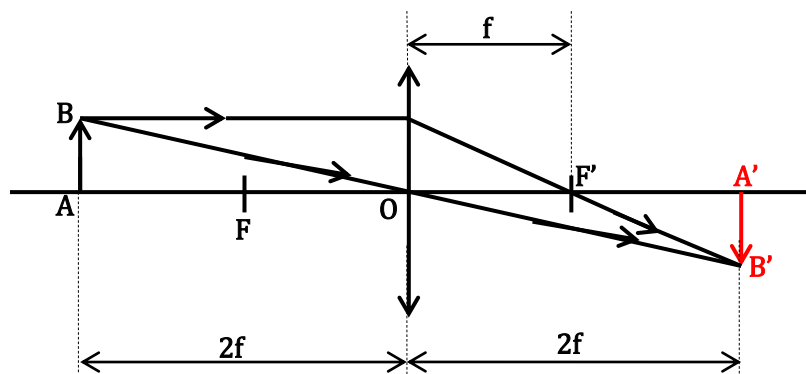


Figure 9.16 : Méthode de Silbermann

3. Marche des rayons lumineux

3.1. Principe de construction

Pour construire l'image d'un objet à travers une lentille, trois rayons sont nécessaires et suffisants :

- Le **rayon incident** (1) passant par B et le centre optique, qui n'est pas dévié.
- Le **rayon incident** (2) parallèle à l'axe optique passant par B qui émerge de la lentille en passant par le foyer image F' .
- Le **rayon incident** (3) passant par B et le foyer objet F qui émerge parallèlement à l'axe optique.

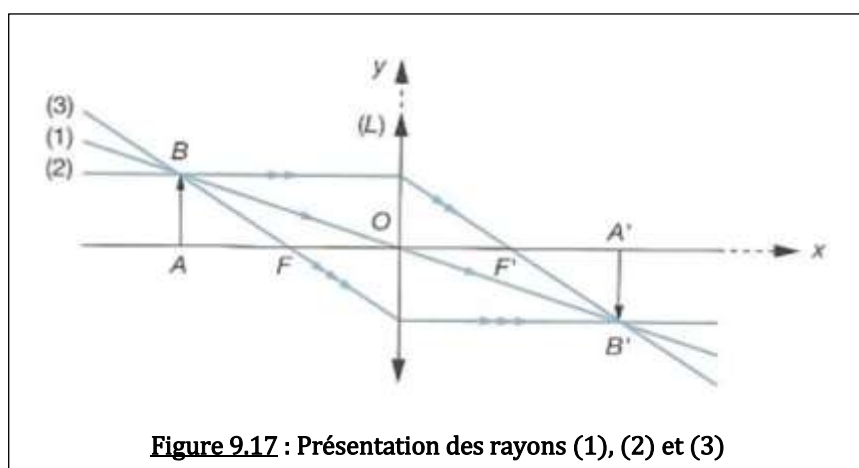


Figure 9.17 : Présentation des rayons (1), (2) et (3)

Remarque

- Les rayons (1) et (2) précédents sont suffisants pour construire l'image d'un objet à travers une lentille.
- Le système étant aplanétique, A' est donc le projeté orthogonal de B' sur l'axe.

3.2. Condition d'obtention d'une image nette (Conditions de Gauss)

- Les lentilles présentent des défauts : aberrations (Dispersion qui s'opèrent entre les divers rayons lumineux émanés d'un même point, lorsqu'ils rencontrent des surfaces courbes qui les réfléchissent ou les réfractent, de sorte qu'ils ne peuvent plus ensuite être concentrés exactement en un même foyer) géométriques, aberrations chromatiques. Pour obtenir des images de bonne qualité (image nette), on doit se placer dans les **conditions de Gauss** :
 - Le faisceau doit traverser la lentille au voisinage du centre optique.
 - Les rayons incidents doivent faire un angle faible avec l'axe principal de la lentille.
- Pour réaliser ces conditions, il faut :
 - Diaphragmer la lentille
 - Observer des objets de petite dimension au voisinage du centre optique.

3.3. Exemples de constructions d'images à travers une lentille

(a) Cas d'une lentille convergente

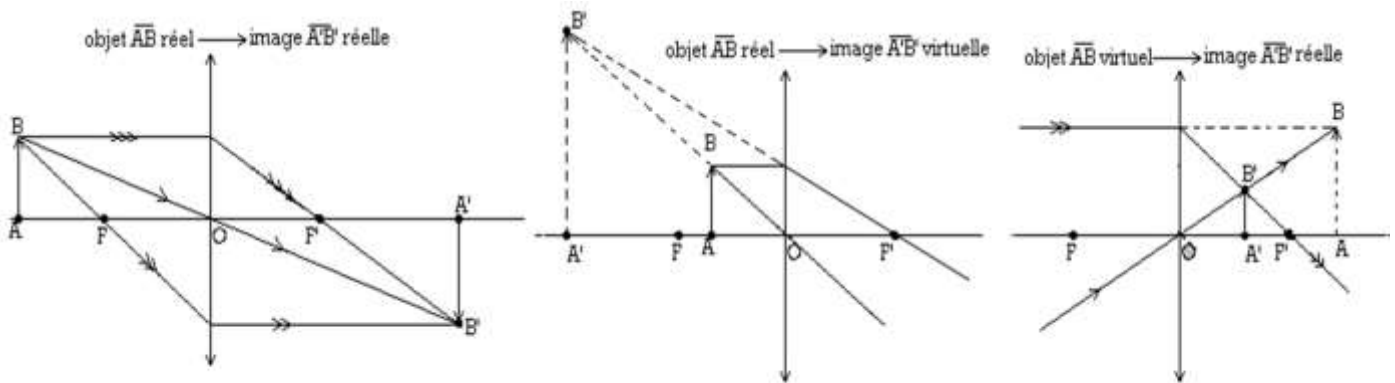


Figure 9.18 : Construction d'image à travers une lentille convergente.

(b) Cas d'une lentille divergente

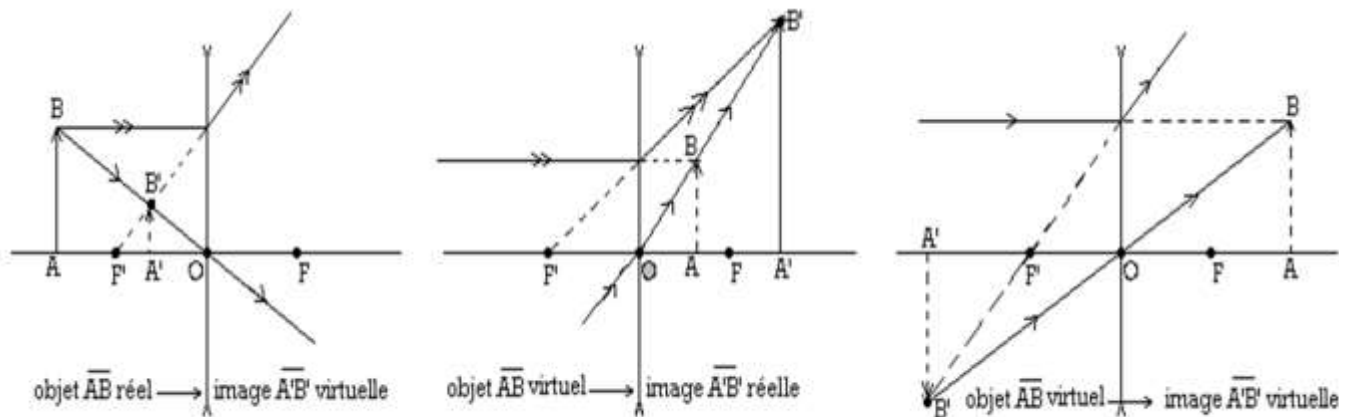


Figure 9.18 : Construction d'image à travers une lentille divergente.

4. Les formules des lentilles (ou formules de Descartes)

4.1. Formule de conjugaison

Elle permet entre autre de déterminer la position $\overline{OA'}$ de l'image $\overline{A'B'}$ par rapport à celle $\overline{OA}$ de l'objet $\overline{AB}$. Elle est donnée par la formule suivante :

$$-\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OF'}} = C \quad (9.9)$$

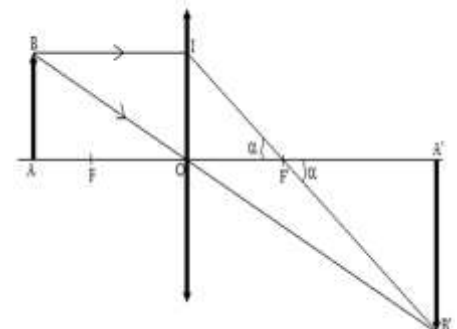
Démonstration

D'après la figure ci-contre, on a :

$$\begin{cases} \tan \alpha = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{F'A'}} = \frac{\overline{OI}}{\overline{F'O}} \\ \frac{\overline{OB'}}{\overline{OB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \Rightarrow \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = \frac{\overline{F'O} + \overline{OA'}}{\overline{F'O}} = 1 + \frac{\overline{OA'}}{\overline{OF'}} \\ \overline{OI} = \overline{AB} \end{cases}$$

D'où, en multipliant la dernière égalité par $\frac{1}{\overline{OA'}}$, on obtient,

$$\frac{1}{\overline{OA'}} \left(\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = 1 + \frac{\overline{OA'}}{\overline{OF'}} \right) \Rightarrow \frac{1}{\overline{OF'}} = C = \frac{1}{\overline{OA'}} + \frac{1}{\overline{OA}}$$



Conséquences

- ✖ Si $\overline{OA} > 0$, alors l'objet est virtuel et dans le cas contraire (i.e. $\overline{OA} < 0$), il est réel.
- ✖ Si $\overline{OA'} > 0$, alors l'image est dite réelle et dans le cas contraire (i.e. $\overline{OA'} < 0$), elle est virtuelle.

4.2. La formule de grandissement

Elle permet entre autre de déterminer la taille ou la grandeur $\overline{A'B'}$ de l'image $\overline{A'B'}$ par rapport à celle $\overline{AB}$ de l'objet $\overline{AB}$. Elle est donnée par :

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \quad (9.10)$$

Conséquences

- ✖ Si $\gamma < 0$, alors l'image est renversée (objet et image sens contraires) mais de même nature.
- ✖ Si $\gamma > 0$, alors l'image est droite (objet et image même sens) mais de natures différentes.

5. Association des lentilles : Théorème des vergences

- Deux lentilles minces (O_1, f'_1) et (O_2, f'_2) sont dites « accolées » ssi :

$$O_1O_2 \ll |f'_1| \text{ \& } |f'_2| \quad (9.11)$$
- Comme les lentilles sont accolées, par hypothèse : $O_1 \approx O_2 \approx O$.

Considérons l'association de deux lentilles convergente L_1 et L_2 distantes de $d = O_1O_2$. Elles ont pour distances focales respectives $\overline{O_1F'_1}$ et $\overline{O_2F'_2}$. On se propose de construire l'image d'un objet AB à travers ce système de deux lentilles accolées et de déterminer la vergence de la lentille unique correspondante.

Remarque

Pour construire l'image $A'B'$ d'un objet AB donnée par le système de deux lentilles, on construit en premier l'image A_1B_1 de AB à travers la lentille L_1 ; A_1B_1 sera objet pour la lentille L_2 ; son image $A'B'$ est également l'image de AB donnée par le système $\{L_1, L_2\}$.

Données : $\overline{O_1F'_1} = 2\text{cm}$; $\overline{O_1A} = -3\text{cm}$; $\overline{AB} = 2\text{cm}$; $\overline{O_2F'_2} = 4\text{cm}$; $\overline{O_1O_2} = 7\text{cm}$.

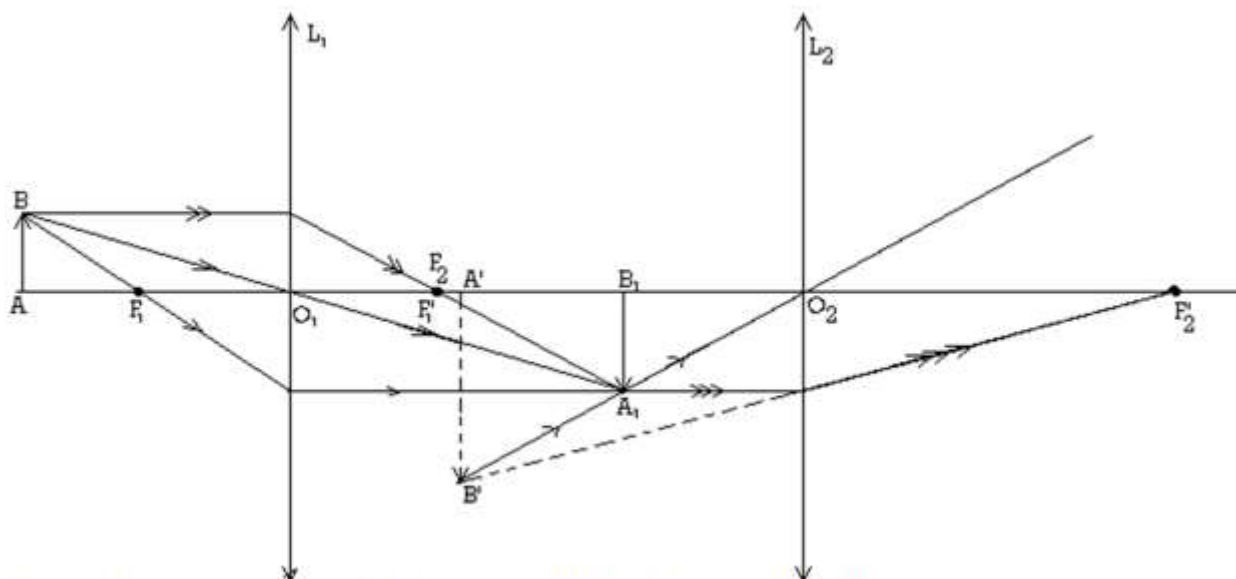


Figure 9.19 : Construction d'image dans un système de 2-lentilles convergentes

- Formule de conjugaison et de grandissement:

$$\text{Lentille } L_1 : -\frac{1}{O_1A} + \frac{1}{O_1A_1} = \frac{1}{O_1F_1} = C_1 \quad (9.12) \quad \gamma_1 = \frac{\overline{O_1A_1}}{\overline{O_1A}} = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} \quad (9.13)$$

$$\text{Lentille } L_2 : -\frac{1}{O_2A_1} + \frac{1}{O_2A'} = \frac{1}{O_2F_2} = C_2 \quad (9.14) \quad \gamma_2 = \frac{\overline{O_2A'}}{\overline{O_2A_1}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}} \quad (9.15)$$

$$\text{Grandissement total : } \gamma = \gamma_1 \times \gamma_2 = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \quad (9.16)$$

$$\text{Vergence } C \text{ totale : } C = C_1 + C_2. \quad (9.17)$$

- Des lentilles sont dites **accollées**, lorsque leurs axes principaux et leurs centres optiques sont supposés confondus.
- Théorème des vergences** : « Plusieurs lentilles accollées sont équivalentes à une lentille unique de vergence **C** égale à la somme algébrique des vergences de chaque lentille constituant le système :

$$C = \sum_{i=1}^n C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (9.18)$$

6. Applications des lentilles

- On utilise l'association de deux lentilles dans les appareils d'optique de grande qualité pour corriger les problèmes d'aberration chromatique. On réalise un « achromat » (sans couleur). Ceci est illustré sur la figure suivante.

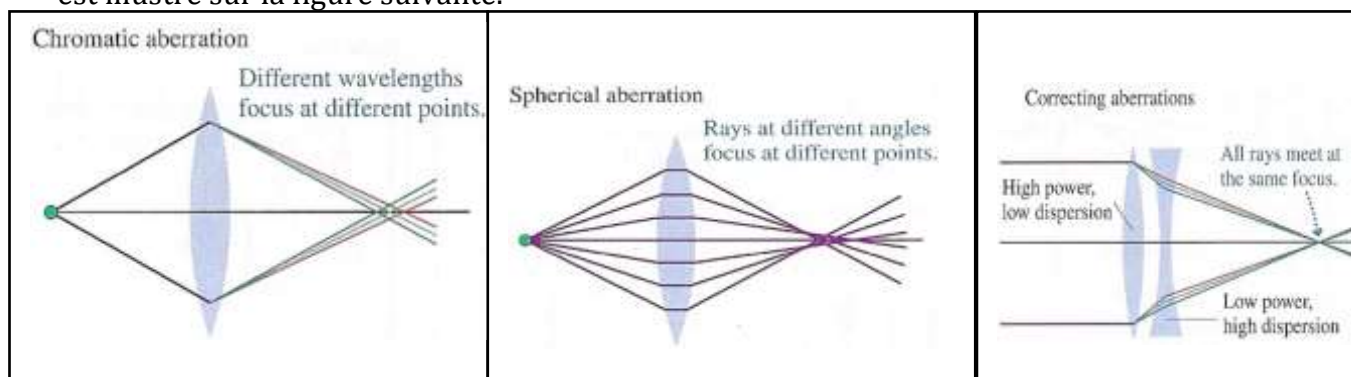


Figure 9.20: Chromatic aberration and spherical aberration prevent simple lenses from forming perfect images.

- Les lentilles sont utilisées dans de très nombreux appareils tels que la loupe, le microscope, la lunette astronomique, l'appareil photographique, le projecteur de diapositive ou de cinéma, les verres correcteurs pour les défauts d'accommodation.

Exemples

- On place à 3 cm derrière une lentille divergente de vergence -20 dioptries, un objet $\overline{AB}$ de hauteur $\overline{AB} = 1$ cm.
 - Donner la nature de l'objet $\overline{AB}$. Justifier votre réponse.
 - Représenter à l'échelle 1 : 1, l'objet $\overline{AB}$ ainsi que son image $\overline{A'B'}$ obtenue à travers cette lentille.
 - Déterminer graphiquement, la nature, la taille et la position de l'image $\overline{A'B'}$.
 - Retrouver les résultats de la question (2.3.) par calculs.
- Une lentille (L_1) mince biconcave possède deux rayons de courbure identique et égaux à R.
 - Représenter la lentille biconcave et préciser sa nature.
 - Déterminer la vergence C_1 de cette lentille si elle est taillée en verre d'indice de réfraction $n = 1,33$ et de rayon de courbure égal à 16,5 cm.

2.3. À gauche de la lentille (L_1) on place une lentille (L_2) divergente de distance focale $\overline{O_2F_2} = -30\text{cm}$ les deux lentilles sont ainsi distantes de $\overline{O_2O_1} = 80\text{cm}$. À 40 cm derrière (L_1), on place un objet $\overline{AB}$ de hauteur 1 cm, perpendiculairement à l'axe optique, le point A étant situé sur l'axe.

2.3.1. Déterminer les caractéristiques (sens, nature, taille, position) de l'image $\overline{A_1B_1}$ obtenue de l'objet $\overline{AB}$ à travers (L_1).

2.3.2. Quel rôle joue $\overline{A_1B_1}$ pour (L_2) ?

2.3.3. Déterminer les caractéristiques (sens, nature, taille, position) de l'image finale $\overline{A'B'}$ obtenue de $\overline{A_1B_1}$ à travers (L_2).

2.3.4. Représenter sur le même schéma, (L_1), (L_2), $\overline{AB}$, $\overline{A_1B_1}$ et $\overline{A'B'}$.

Échelle : 1 : 1 sur la verticale ; 1cm → 10 cm sur l'horizontale.

3. Un objet situé au double de la distance focale, devant une lentille convergente, occupe une position particulière.

3.1. Montrer quelle est cette particularité en exprimant la position de l'image en fonction de la distance focale.

3.2. En déduire la distance séparant l'objet de l'image en fonction de la distance focale.

3.3. Calculer le grandissement dans cette situation et décrire (sens et nature) l'image.

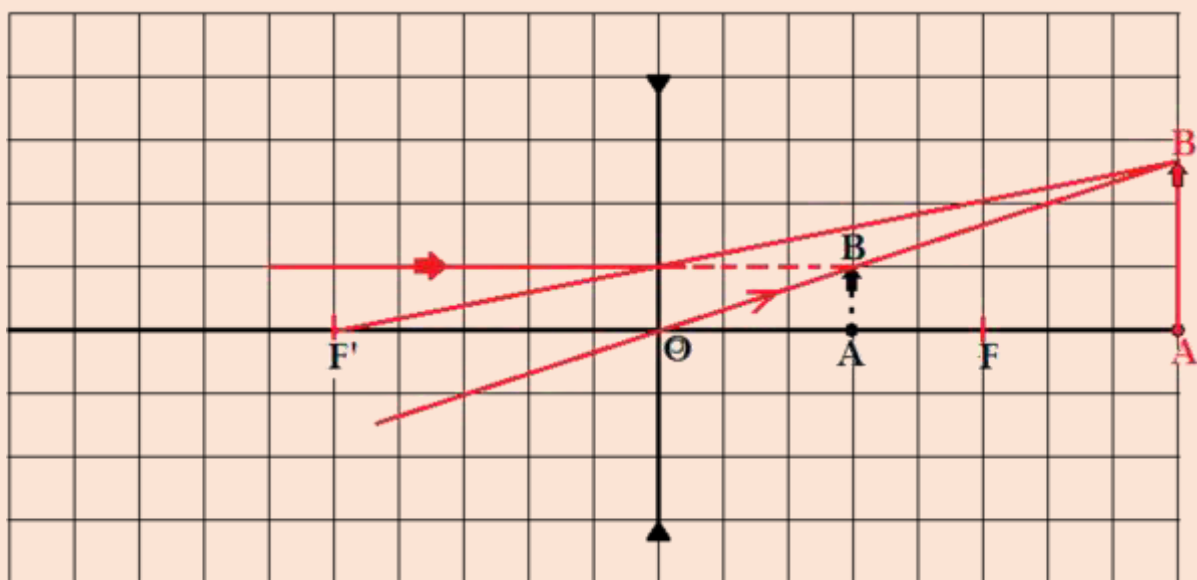
3.4. Comment évoluent la position et la taille de l'image si l'objet s'éloigne de la lentille ? On pourra s'aider d'un schéma.

Solution

1. Données : $\overline{OA} = 3\text{cm}$; $C = -20\delta$; $\overline{AB} = 1\text{cm}$

1.1. Étant donné que $\overline{OA} = 3\text{cm} > 0$, alors, l'objet est **virtuel**.

1.2. Représentons à l'échelle 1 : 1, l'objet AB et son image A'B'.



1.3. Déterminons graphiquement (concernant l'image $\overline{A'B'}$) :

- ♦ La nature : L'image s'est formée derrière la lentille elle est donc **réelle**.
- ♦ La position : $\overline{OA'} = 8\text{cm}$
- ♦ La taille : $\overline{A'B'} \cong 2,7\text{cm}$

1.4. Retrouvons les résultats précédents par calculs.

- Position (formule de conjugaison) :

$$\overline{OA'} = \frac{\overline{OF'} \times \overline{OA}}{\overline{OF'} + \overline{OA}} \quad \underline{\text{AN}} : \overline{OA'} = 7,5\text{cm} \approx 8\text{cm}$$

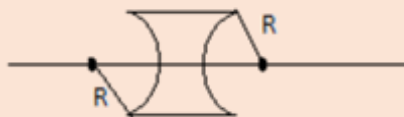
- Taille (formule de grandissement) :

$$\overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \times \overline{AB} \quad \underline{\text{AN}} : \overline{A'B'} = 2,7\text{cm}$$

- Nature : $\overline{OA'} = 8\text{cm} > 0$, image réelle et droite par rapport à l'objet.

2. Une lentille (L_1) mince biconcave possède deux rayons de courbure identique égaux à R .

2.1. Représentons la lentille biconcave et précisons sa nature :



Nature : Lentille divergente.

2.2. Déterminons la vergence C_1 de cette lentille : $n = 1,33$; $\overline{R} = -16,5\text{ cm} = -16,5 \cdot 10^{-2}\text{ m}$

Par définition, on a : $C_1 = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{2 \times (n-1)}{R}$ car $R_1 = R_2 = R$. AN : $C_1 = -4\delta$

2.3. À gauche de la lentille (L_1) on place une lentille (L_2) divergente de distance focale $\overline{O_2F'_2} = -30\text{cm}$ les deux lentilles sont ainsi distantes de $\overline{O_2O_1} = 80\text{cm}$. À 40 cm derrière (L_1), on place un objet $\overline{AB}$ de hauteur 1 cm, perpendiculairement à l'axe optique, le point A étant situé sur l'axe.

2.3.1. Déterminons les caractéristiques (sens, nature, taille, position) de l'image $\overline{A_1B_1}$ obtenue de l'objet $\overline{AB}$ à travers (L_1) :

- Position : $\overline{O_1A_1} = \frac{\overline{O_1F'_1} \times \overline{O_1A}}{\overline{O_1F'_1} + \overline{O_1A}} = \frac{\overline{O_1A}}{1 + C_1 \times \overline{O_1A}}$ AN : $\overline{O_1A_1} = -67\text{cm}$

- Nature : image virtuelle car $\overline{O_1A_1} < 0$.

- Sens : image renversée par rapport à l'objet.

- Taille : $\overline{A_1B_1} = \frac{\overline{O_1A_1}}{\overline{O_1A}} \times \overline{AB}$ AN : $\overline{A_1B_1} = -1,675\text{ cm} \approx -1,7\text{cm}$

2.3.2. $\overline{A_1B_1}$ joue le rôle d'objet pour (L_2).

2.3.3. Déterminons les caractéristiques (sens, nature, taille, position) de l'image finale $\overline{A'B'}$ obtenue de $\overline{A_1B_1}$ à travers (L_2).

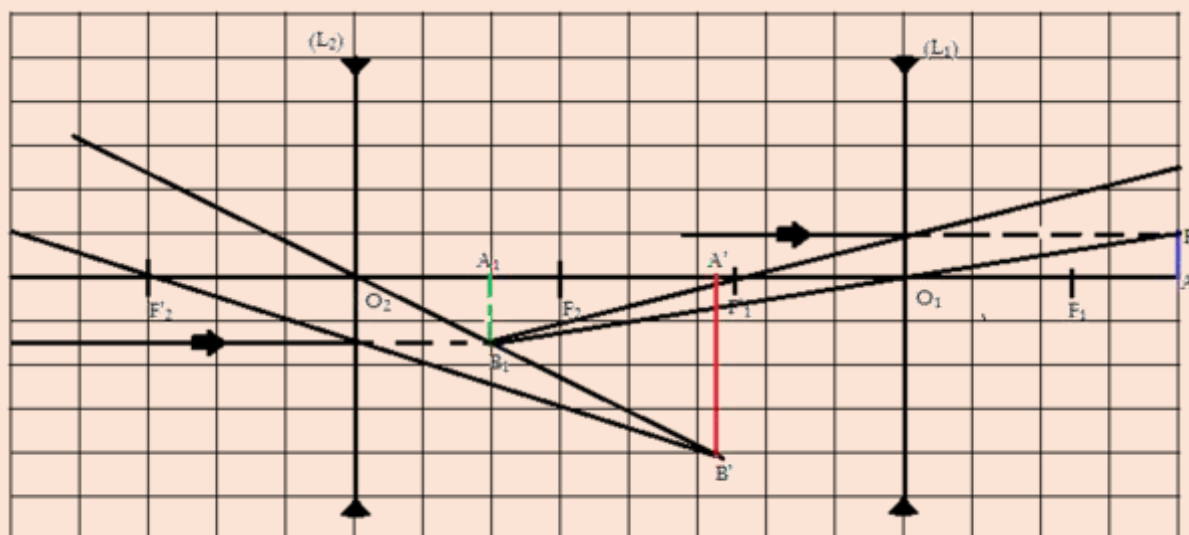
- Sens : image renversée par rapport à l'objet $\overline{AB}$ et de même sens que $\overline{A_1B_1}$.

- Nature : image réelle

- Position : $\overline{O_2A'} = \frac{\overline{O_2F'_2} \times \overline{O_2A_1}}{\overline{O_2F'_2} + \overline{O_2A_1}} = \frac{\overline{O_2F'_2} \times (\overline{O_2O_1} + \overline{O_1A_1})}{\overline{O_2F'_2} + (\overline{O_2O_1} + \overline{O_1A_1})}$ AN : $\overline{O_2A'} \approx 23\text{ cm}$

- Taille : $\overline{A'B'} = \frac{\overline{O_2A'} \times \overline{A_1B_1}}{\overline{O_2A_1}} = \frac{\overline{O_2A'} \times \overline{A_1B_1}}{\overline{O_2O_1} + \overline{O_1A_1}}$ AN : $\overline{A'B'} = -3\text{cm}$

2.3.4. Représentons sur le même schéma, (L_1) , (L_2) , $\overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{A_1B_1}$ et $\overrightarrow{A'B'}$



3. Un objet AB, situé au double de la distance focale, devant une lentille convergente, occupe une position particulière : $\overline{OA} = -\overline{OF'}$ (1)

3.1. Montrons cette particularité en exprimant la position de l'image en fonction de la distance focale :

$$-\frac{1}{OA} + \frac{1}{OA'} = \frac{1}{OF'} \Rightarrow \overline{OA'} = 2\overline{OF'}$$

3.2. En déduire la distance séparant l'objet de l'image en fonction de la distance focale.

$$\text{On a : } \overline{AA'} = \overline{AO} + \overline{OA'} = 4 \times \overline{OF'}$$

3.3. Calculons le grandissement dans cette situation et décrire (sens et nature) de l'image :

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

Description de l'image :

- Taille : objet et image, même taille.
- Nature : image réelle.
- Sens : $\gamma < 0$, l'objet et l'image sont en sens inverse.

3.4. Si l'objet s'éloigne de la lentille, la distance objet – lentille s'agrandie et $\gamma < 1 \Rightarrow OA' > OA$ où $AB > A'B'$, par conséquent l'objet se rapproche de la lentille et sa taille diminue.

7. [Jeu bilingue](#)

Expression française	English expression
Lentille	Lens.
Lentille sphérique mince	Thin spherical lens.
Écran	Screen
Distance focale	Focal length

[Sentence](#)

Vergence's theorem: "Several contiguous lenses are equivalent to a single lens of vergence C equal to algebraic sum of vergences of each lens constituting the system."