

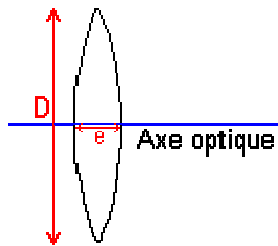
# Les lentilles minces



## Convention:

Dans cet exposé, la lumière est supposée se déplacer de la gauche vers la droite.

## I. Généralités sur les lentilles minces:



Une lentille est un milieu transparent limité par deux surfaces dont l'une au moins n'est pas plane.

- D: Diamètre d'ouverture.
- e: Epaisseur.

Une lentille est dite **mince** si son épaisseur **e** est faible devant son diamètre **D**.

## Classification des lentilles minces:

### Lentilles à bords minces:



biconvexe



plan convexe

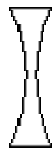


ménisque convergent



symbole

### Lentilles à bords épais:



biconcave



plan concave



ménisque divergent



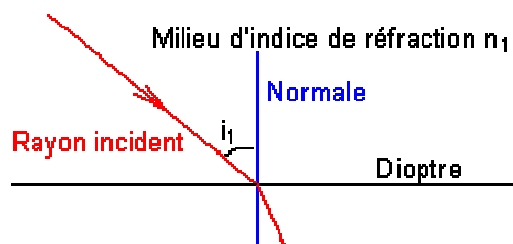
symbole

## Déviat

### Première loi de la réfraction:

Lorsque la lumière passe d'un milieu d'indice de réfraction  $n_1$  dans un milieu d'indice de réfraction  $n_2$ ,

le rayon réfracté est situé dans le plan d'incidence.

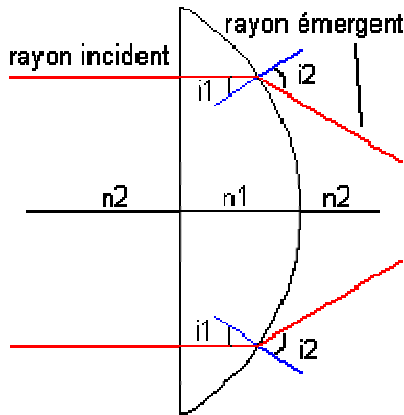


Deuxième loi de la réfraction:

Lorsque la lumière passe d'un milieu d'indice de réfraction  $n_1$  dans un milieu d'indice de réfraction  $n_2$ , les angles d'incidence et de réfraction sont liés par la relation:

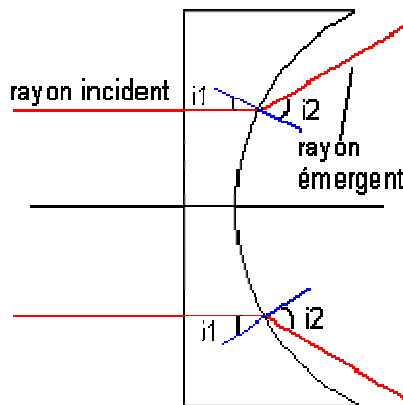
$$n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2).$$

Lentille convergente - Lentille divergente:



L'indice de réfraction du milieu transparent ( $n_1$ ) étant supérieur à celui de l'air ( $n_2=1$ ), l'angle  $i_2$  est supérieur à l'angle  $i_1$  (à cause de la par la relation:  $n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$ ). Les rayons lumineux issus de la lentille vont donc converger en un point.

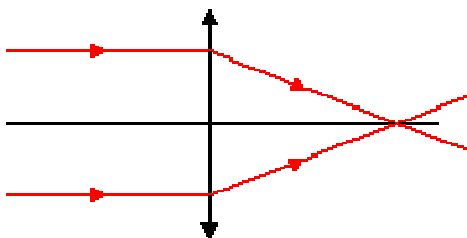
**Une lentille mince à bords minces est convergente.**



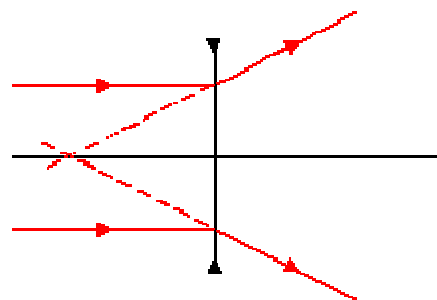
L'indice de réfraction du milieu transparent ( $n_1$ ) étant supérieur à celui de l'air ( $n_2=1$ ), l'angle  $i_2$  est ici encore supérieur à l'angle  $i_1$ . (à cause de la par la relation:  $n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$ ). Les rayons lumineux issus de la lentille vont donc sembler diverger d'un point.

**Une lentille mince à bords épais est divergente.**

Dans la suite, les lentilles minces seront représentées de la façon suivante:



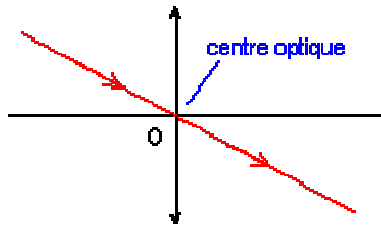
Lentille convergente



Lentille divergente

II. Points et rayons particuliers:

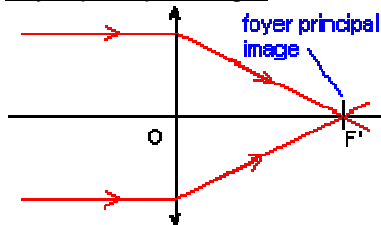
Centre optique:



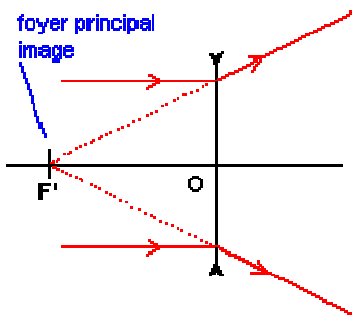
Un rayon passant par le centre optique d'une lentille mince n'est pas dévié.

**Foyers principaux:**

Foyer principal image:

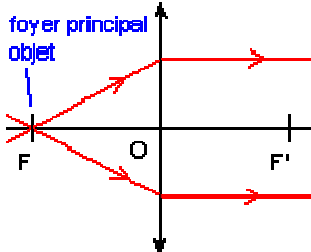


Tout rayon incident parallèle à l'axe principal d'une **lentille convergente** émerge en passant par le foyer **principal image F'**.

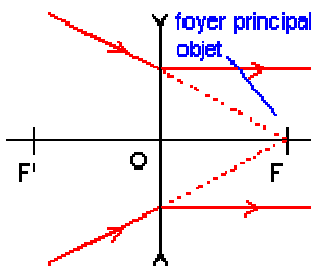


Tout rayon incident parallèle à l'axe principal d'une **lentille divergente** émerge en semblant provenir du **foyer principal image F'**.

Foyer principal objet:



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



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

**Distance focale:**

On appelle distance focale la grandeur  $f' = \overline{OF'}$ .

Remarque:

Si  $f' > 0$ , la lentille est **convergente**. Si  $f' < 0$ , la lentille est **divergente**.

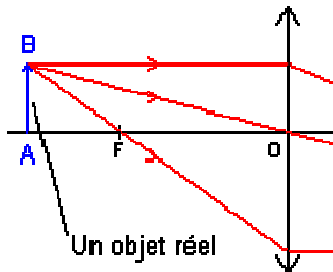
**Vergence:**

On appelle vergence C d'une lentille l'inverse de sa distance focale. La vergence s'exprime en dioptries ( $\delta$ ).

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

### III. Images et objets:

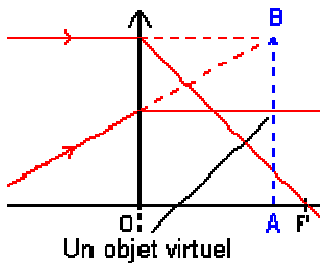
#### Qu'est-ce qu'un objet?



On appelle objet ponctuel le point d'intersection des rayons incidents où de leur prolongement.

Un objet est **réel** si tous les rayons qui lui parviennent sont réels (il n'est pas nécessaire de les prolonger jusqu'à l'objet).

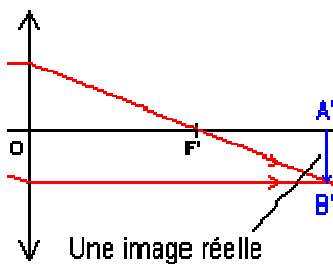
Si un objet A est réel, le faisceau incident issu de celui-ci est divergent et de ce fait  $\overline{OA} < 0$  (un objet réel est situé à gauche de la lentille).



Un objet est **virtuel** si au moins un des rayons qui lui parviennent est virtuel (il est nécessaire de le prolonger jusqu'à l'objet).

Si un objet A est virtuel, le faisceau incident issu de celui-ci est convergent et de ce fait  $\overline{OA} > 0$  (un objet virtuel est situé à droite de la lentille).

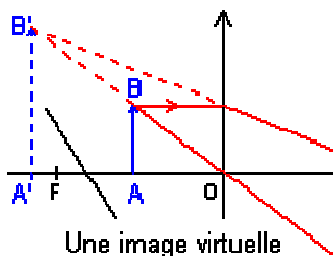
#### Qu'est-ce qu'une image?



On appelle image ponctuelle le point d'intersection des rayons émergents où de leur prolongement.

Une image est **réelle** si tous les rayons qui lui parviennent sont réels (il n'est pas nécessaire de les prolonger jusqu'à l'image).

Si une image A' est réelle, le faisceau émergent converge vers l'image et de ce fait  $\overline{OA'} > 0$  (une image réelle est située à droite de la lentille).



Une image est **virtuelle** si au moins un des rayons qui lui parviennent est virtuel (il est nécessaire de le prolonger jusqu'à l'image).

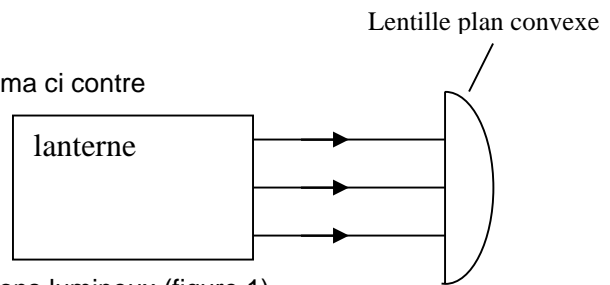
Si une image A' est virtuelle, le faisceau émergent diverge à partir de l'image et de ce fait  $\overline{OA'} < 0$  (une image virtuelle est située à gauche de la lentille).

#### Qualité des images:

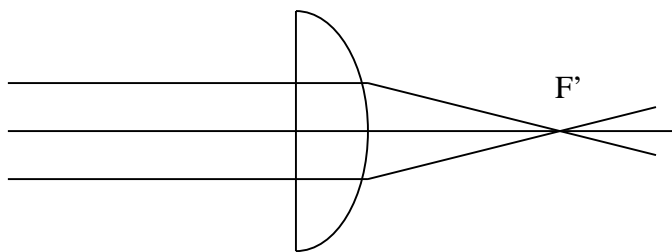
Les lentilles présentent des défauts (aberrations géométriques, aberrations chromatiques). Pour obtenir des images de bonne qualité, on doit se placer dans les **conditions de Gauss**.

**Manipulation :**

- réaliser le montage correspondant au schéma ci contre



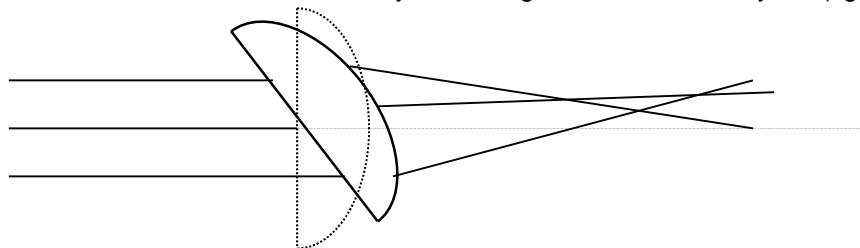
- schématiser, à l'échelle, la marche des rayons lumineux.(figure 1)



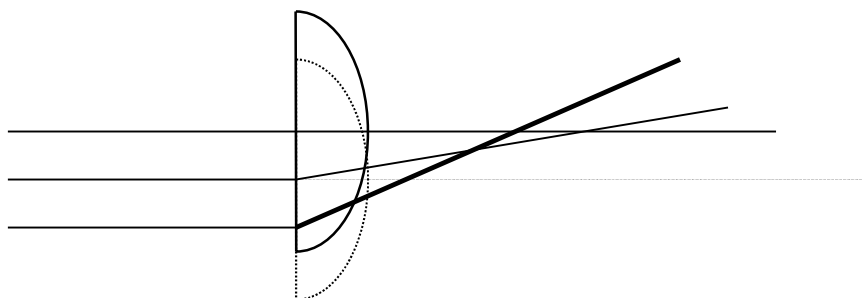
- Déterminer la position du foyer image, la distance focale et la vergence de cette lentille.

Les rayons incidents étant parallèles, les rayons qui émergent de la lentille convergent au foyer image  $F'$ . En choisissant le centre optique au milieu de l'épaisseur de la lentille, on peut lui attribuer une distance focale  $f' = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$  soit une vergence  $C=1/0,1=10\delta$  (dioptrie)

- Faire pivoter la lentille et observer les rayons émergents. Tracer ces rayons (figure 2)



- Qu'observe-t-on ? les rayons émergents ne convergent plus en un point : il n'y a donc plus d'image.
- Comment faut-il placer la lentille pour obtenir une bonne image ? Quand les rayons incidents sont parallèles à l'axe optique de la lentille, le système optique est alors stigmatique : l'image d'un point est un point. Cela reste vrai si les rayons incidents sont peu inclinés par rapport à l'axe optique.
- Replacer la lentille dans sa position initiale puis la déplacer perpendiculairement aux rayons incidents. Observer les rayons émergents. Tracer ces rayons (figure 3)



- Qu'observe-t-on ? les rayons qui passent près du bord de la lentille convergent plus que les autres. On observe également un phénomène de dispersion comme dans un prisme (décomposition de la lumière blanche en lumières colorées)
- Quelle condition supplémentaire faut-il ajouter à la précédente pour obtenir une bonne image ? Il faut que les rayons passent près du centre de la lentille.

**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 optique de la lentille .

Pour réaliser ces conditions, il faut:

- Diaphragmer la lentille.
- Observer des objets de petite dimension au voisinage du centre optique.

#### **IV. Construction de l'image d'un objet:**

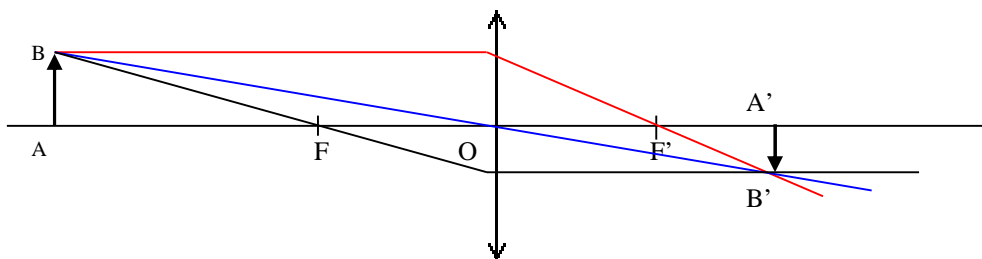
##### **Méthode:**

Pour déterminer graphiquement la position de l'image d'un objet par une lentille, il suffit de tracer le trajet de quelques rayons issus de cet objet (deux suffisent) en appliquant les règles suivantes:

- Un rayon passant par le centre optique d'une lentille n'est pas dévié.
- Un rayon parallèle à l'axe principal d'une lentille émerge en passant par le (ou en semblant provenir du) foyer principal image  $F'$ .
- Un rayon passant (ou semblant passer) par le foyer principal objet émerge de la lentille parallèlement à son axe principal.
- Un rayon quelconque, parallèle à un axe secondaire émerge en passant par le (ou en semblant provenir du) foyer secondaire image  $\varphi'$ , intersection de l'axe secondaire et du plan focal image.
- Un rayon passant (ou semblant passer) par un foyer secondaire objet  $\varphi$  émerge de la lentille parallèlement à l'axe secondaire défini par les point  $\varphi$  et  $O$ .

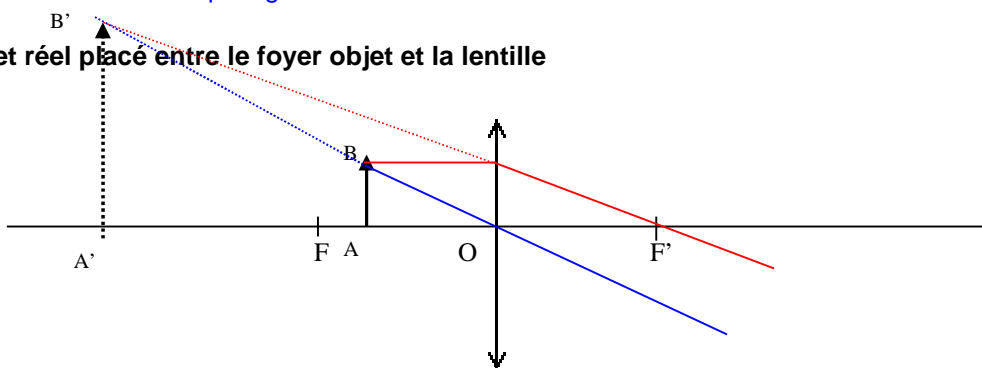
##### **Cas d'une lentille convergente:**

###### **a) objet réel placé avant le foyer objet**



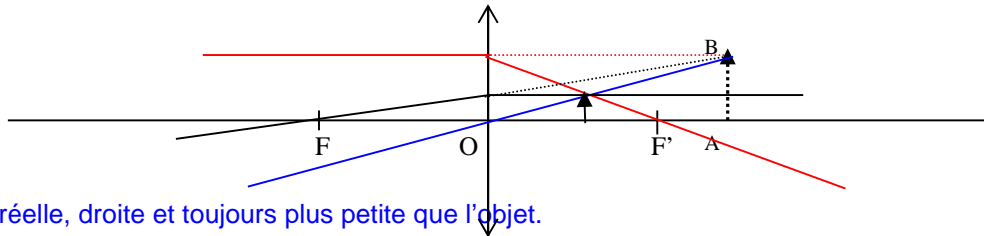
L'image est réelle et renversée. Elle est plus petite si la distance objet lentille est supérieur à 2 fois la distance focale. Elle est plus grande dans le cas contraire.

###### **b) objet réel placé entre le foyer objet et la lentille**



L'image est virtuelle, droite et toujours plus grande que l'objet. Dans ces conditions, la lentille est utilisée en LOUPE.

###### **c) objet virtuel**

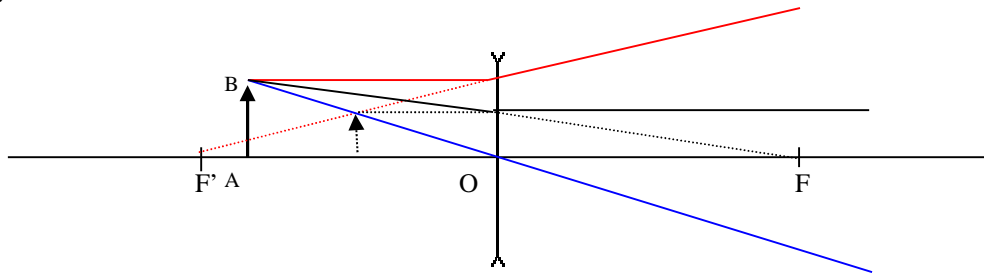


l'image est réelle, droite et toujours plus petite que l'objet.

**Question :** On considère un ensemble de rayons incidents parallèles à l'axe optique. Où se trouve l'objet dont sont issus ces rayons ? à l'infini où se trouve l'image d'un tel objet ? au foyer image

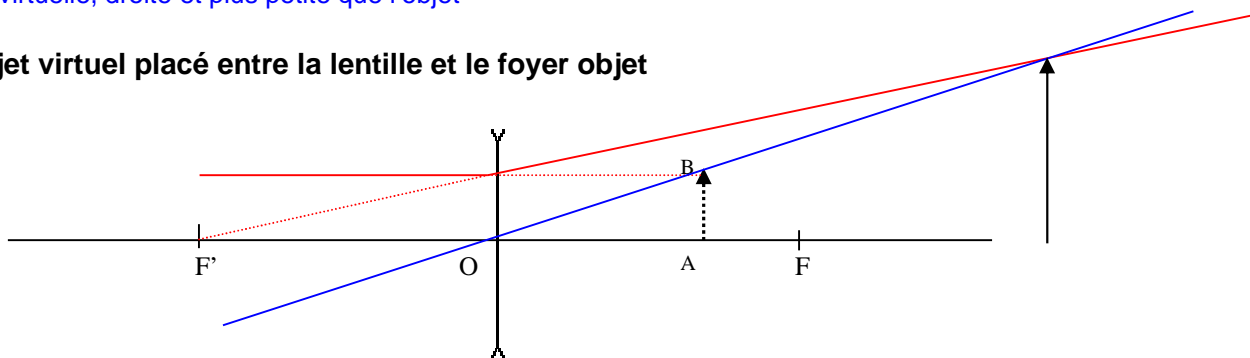
### Cas d'une lentille divergente

a) objet réel



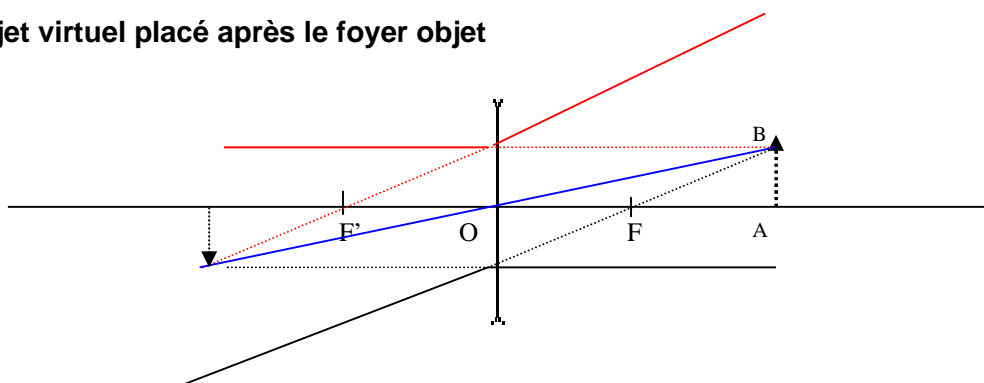
l'image est virtuelle, droite et plus petite que l'objet

b) objet virtuel placé entre la lentille et le foyer objet



L'image est réelle, droite et plus grande que l'objet

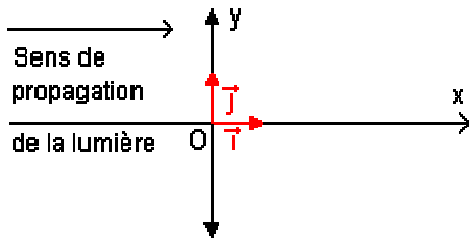
c) objet virtuel placé après le foyer objet



L'image est virtuelle et renversée. Elle est plus grande si la distance lentille objet est supérieure à 2 fois la distance focale. Elle est plus petite dans le cas contraire.

### V. Relations des lentilles minces:

#### Convention de signe:



**Relation de conjugaison:**

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

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

En posant  $\overline{OA} = p$  et  $\overline{OA'} = p'$ , on obtient:

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}$$

**Relation de grandissement:**

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

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

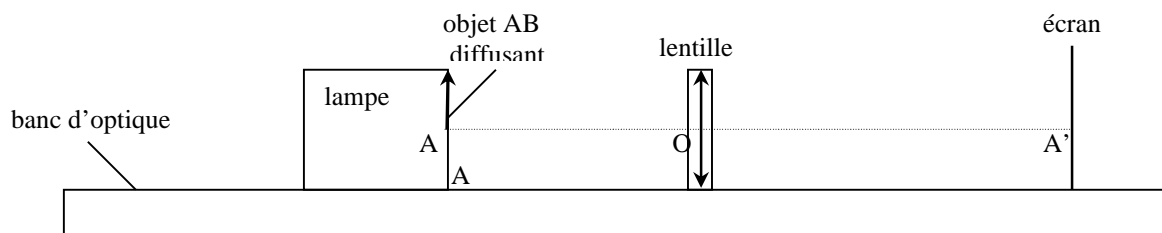
**Remarques:**

- Si  $\gamma > 0$ , l'image est droite par rapport à l'objet.
  - Si  $\gamma < 0$ , l'image est inversée par rapport à l'objet
- On montre que:

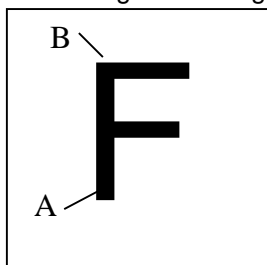
$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

**Manipulation :**

- réaliser le montage en suivant le schéma ci-contre :  
distance objet-écran  $\overline{AA'} = 1m$  ; vergence de la lentille  $C = +8\delta$



- mesurer la grandeur algébrique  $\overline{AB}$  de l'objet :



$$\overline{AB} = 20 \text{ mm}$$

- éloigner très progressivement la lentille de l'objet diffusant (lettre F) jusqu'à en obtenir une image nette sur l'écran. Repérer, sur la règle graduée du banc d'optique, les positions, notées respectivement A, O et A', de l'objet, de la lentille et de l'image. Mesurer la grandeur algébrique  $\overline{A'B'}$  de l'image. Compléter le tableau.

$\overline{OA}$ en m	- 0.143	- 0,148	- 0.151	- 0.160	- 0,175	- 0,150	-0.850
$\overline{OA'}$ en m	0.857	0,752	0,649	0,540	0,425	0,300	0,150
$\overline{A'B'}$ en mm	- 116	- 98	- 83	- 65	- 47	- 20	-4
$\frac{1}{\overline{OA}}$ en m <sup>-1</sup>	- 7.0	- 6.8	- 6.6	- 6.3	- 5,7	- 4.0	-1,2
$\frac{1}{\overline{OA'}}$ en m <sup>-1</sup>	1.2	1.3	1.5	1.9	2.3	4.0	6,7
$\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$	- 6.0	- 5.1	- 4.3	- 3.4	- 2.4	- 1.0	-0,2
$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$	- 5.8	- 4.9	- 4.2	- 3.3	- 2.3	- 1.0	-0,2

- Rapprocher un peu l'écran de la lentille, puis déplacer très progressivement la lentille jusqu'à obtenir de nouveau l'image sur l'écran. Reporter dans le tableau les nouvelles valeurs. Recommencer l'opération plusieurs fois en déplaçant l'écran.
- Tracer le graphique représentant  $\frac{1}{\overline{OA'}}$  en fonction de  $\frac{1}{\overline{OA}}$ .
- Montrer que la courbe obtenue est en accord avec la formule de conjugaison des lentilles. Il s'agit d'une droite de pente égale à + 1. Son équation se met donc sous la forme

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + b$$

Cette équation est bien en accord avec la formule de conjugaison des

lentilles minces  $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = 1/f'$  en posant  $b = 1/f' = C$ , vergence de la lentille.

- A partir du graphique, déterminer la distance focale  $f' = \overline{OF'}$  de la lentille utilisée. Sur le graphe, on lit comme ordonnée à l'origine  $b = 1/f' = 8,1$  soit  $f' = 0,12 \text{ m}$
- Montrer que cette valeur est en accord avec l'indication portée sur la lentille. L'indication correspond à la vergence  $C = +8\delta$

- Comparer les valeurs  $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$  et  $\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$ . Quelle relation lie le grandissement aux positions

de l'objet et de l'image ?  $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

## VI. Simulateur : Étude de l'image d'un objet par une lentille

**1. Un objet de hauteur 8 cm est placé à 75 cm d'une lentille mince convergente de distance focale 25 cm.**

1.1 A l'aide de la relation de conjugaison, calculer la position de l'image obtenue

La relation de conjugaison donne :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} + \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

avec  $\overline{OA} = -75$  cm et  $f' = 25$  cm, on obtient :  
 $\overline{OA'} = 37,5$  cm.

1.2 A l'aide de la relation donnant le grandissement, calculer la taille de l'image obtenue.

La relation de grandissement donne :

$$\square = \overline{OA'} / \overline{OA} = -0,5$$

L'image est donc renversée et de taille 4 cm.

1.3 Vérifier à l'aide du simulateur.

**2. Un objet de hauteur 5 cm est placé à 45 cm devant une lentille et son image est projetée sur un écran placé à 90 cm derrière la lentille.**

2.1 Après avoir rappelé la relation de conjugaison, calculer la distance focale de cette lentille convergente puis indiquer la valeur trouvée dans l'onglet « Lentilles ».

En appliquant la relation de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} + \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

avec  $\overline{OA'} = 90$  cm et  $\overline{OA} = -45$  cm, on obtient :  
 $f' = 30$  cm.

2.3 Quel est le grandissement de ce système optique ?  
Le vérifier l'aide du simulateur.

Le grandissement de ce système est :

$$\square = \overline{A'B'} / \overline{AB} = -2.$$

2.3 En modifiant la position de l'objet, préciser les positions de l'objet pour lesquelles l'image est plus grande que l'objet.

**Quand l'objet est situé entre  $2f'$  et  $f'$  en avant de la lentille.**

2.4 À l'aide du simulateur, donner la localisation de l'image si l'objet est maintenant placé à 15 cm de la lentille ?

Peut-on recueillir cette image sur un écran ?

L'image est située à 30 cm à gauche de la lentille. L'image est virtuelle et ne peut donc pas être matérialisée sur un écran.