

# Lentilles

## Plan du cours

<b>I</b>	<b>Introduction à l'optique géométrique</b>	<b>2</b>
I.A	Modèle des rayons lumineux . . . . .	2
I.B	Que voyons-nous réellement? . . . . .	3
I.C	Stigmatisme et aplanétisme . . . . .	5
<b>II</b>	<b>Formation d'images par une lentille</b>	<b>6</b>
II.A	Lentilles réelles et modélisation. . . . .	6
II.B	Points particuliers . . . . .	7
II.C	Construction d'images . . . . .	8
<b>III</b>	<b>Relations de conjugaison et de grandissement</b>	<b>11</b>
III.A	Grandissement. . . . .	11
III.B	Relations de conjugaison . . . . .	12
III.C	Former une image sur un écran à distance connue. . . . .	13

- |          |                                 |          |  |
|----------|---------------------------------|----------|--|
| <b>R</b> | Résultat à connaître par cœur.  | <b>M</b> | Méthode à retenir, mais pas le résultat. |
| <b>D</b> | Démonstration à savoir refaire. | <b>Q</b> | Aspect qualitatif uniquement.            |

*Les paragraphes sans mention en marge sont là pour faciliter votre compréhension ou pour votre culture mais n'ont pas forcément besoin d'être appris en tant que tel.*

**Prémabule :** quelles sont les différentes théories permettant de décrire les phénomènes lumineux ?



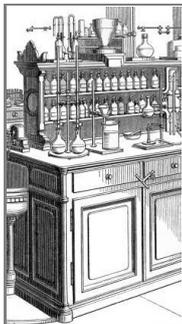
Optique géométrique : lumière = ensemble de rayons lumineux  $\leadsto$  instruments d'optique, arc-en-ciel, etc.

Optique ondulatoire : lumière = onde électromagnétique  $\leadsto$  interférences, diffraction

Optique quantique : lumière = flux de photons  $\leadsto$  effet photoélectrique, expériences à un photon, etc.

Espace 1

$\leadsto$  nous allons cette année les toucher du doigt, en commençant par étudier la formation des images dans le cadre de l'optique géométrique.



*Un peu d'histoire : L'optique est étudiée depuis l'Antiquité, où Euclide a exploré les lois de la réflexion. Les savants arabes, dont Alhazen, l'ont ensuite développée au Moyen Âge en étudiant la réfraction et la vision. La Renaissance a vu l'invention des lunettes et des télescopes pour l'observation astronomique, sous l'impulsion de Galilée ou Cassini. Newton et Huygens ont analysé la nature de la lumière aux XVII<sup>e</sup> siècle en développant deux théories concurrentes, corpusculaire pour Newton et ondulatoire pour Huygens. Au XIX<sup>e</sup> siècle, la théorie ondulatoire a été définitivement confirmée par la découverte des interférences par Young et Fresnel, puis enrichie par l'électromagnétisme de Maxwell. L'optique quantique a émergé au XX<sup>e</sup> siècle, étudiant les interactions lumière-matière à l'échelle atomique, ce qui a par exemple permis l'avènement des lasers.*



*Un peu d'histoire : L'optique a par ailleurs offert à la France plusieurs prix Nobel récents :*

- ▶ Claude Cohen-Tannoudji (1997) : refroidissement et piégeage d'atomes par laser;
- ▶ Serge Haroche (2012) : manipulation et observation d'atomes individuels à l'aide de photons;
- ▶ Gérard Mourou (2018) : impulsions laser ultra-courtes de haute intensité, ayant permis de multiples applications en chirurgie ophtalmique, usinage, etc;
- ▶ Alain Aspect (2022) : preuve expérimentale de l'intrication entre photons, test fondamental de la mécanique quantique;
- ▶ Pierre Agostini et Anne L'Huillier (2023) : flashes optiques attoseconde ( $10^{-18}$  s), suffisamment rapides pour suivre le mouvement des électrons dans les atomes et molécules.

## I - Introduction à l'optique géométrique

Le modèle de l'optique géométrique consiste à décrire la lumière comme un ensemble de rayons lumineux.

### I.A - Modèle des rayons lumineux

#### • Définition



Un **rayon lumineux** est une ligne le long de laquelle la lumière se propage.

Il s'agit d'une notion abstraite : on ne peut pas produire ni même isoler un rayon lumineux, mais seulement un faisceau contenant une infinité de rayons.



↪ limite du modèle géométrique :

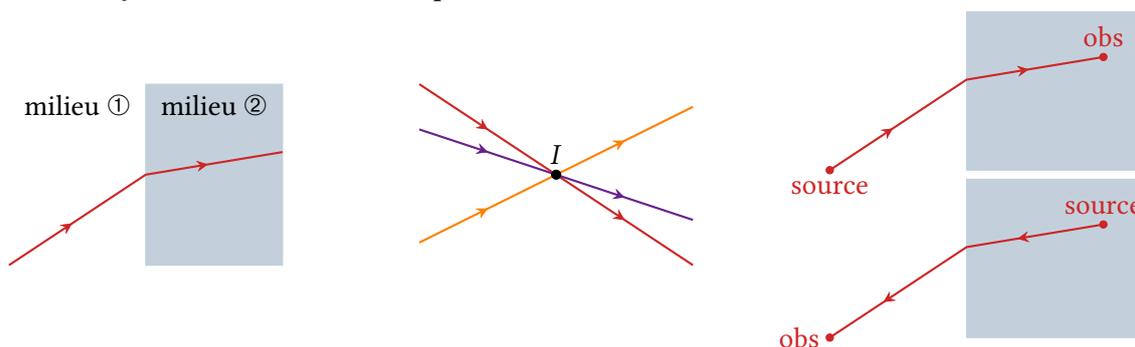
diffraction si l'on cherche à isoler un rayon à l'aide d'une ouverture trop petite

Espace 2

#### • Propriétés des rayons lumineux



- ▶ *Propagation rectiligne* : les rayons lumineux se propagent en ligne droite dans un milieu homogène, et sont déviés lors d'un changement de milieu : c'est le phénomène de **réfraction** ;
- ▶ *Indépendance des rayons lumineux* : les rayons lumineux se croisent sans interagir les uns avec les autres ;
- ▶ *Principe du retour inverse de la lumière* : si un rayon lumineux suit un trajet dans un sens, alors il suivrait le même trajet dans l'autre sens si les points d'émission et d'observation étaient inversés.



Ces propriétés sont des *postulats* de la théorie géométrique, c'est-à-dire qu'elles sont affirmées et ne peuvent pas être démontrées par d'autres arguments d'optique géométrique. En revanche, elles peuvent être reliées voire démontrées par les théories « supérieures » : ainsi, les lois de Snell-Descartes se démontrent en électromagnétisme.

→ limite du modèle géométrique :

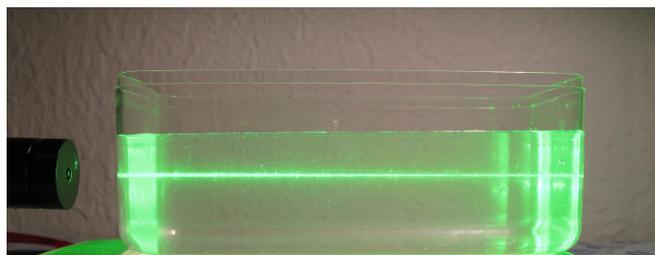
les interférences lumineuses contredisent le postulat d'indépendance des rayons lumineux → modèle géométrique valable lorsqu'il n'y a pas d'interférences



Espace 3

### I.B - Que voyons-nous réellement ?

- On ne voit pas la lumière en tant que telle



Source image : <https://fr.science-questions.org>

**Expérience :** La cuve contient de l'eau et un peu de lait, ce qui permet de mettre les particules grasses contenues dans le lait en suspension tout en gardant un milieu globalement transparent. On l'éclaire avec un laser.

**Observation :** on ne voit de la lumière que dans la cuve ... pourtant il y en a forcément avant et après aussi !

#### Interprétation :

L'œil ne voit pas directement les rayons lumineux : pour savoir qu'il y a de la lumière à un endroit, il faut qu'elle soit déviée par un objet réfléchissant et aboutisse à l'œil de l'observateur.



Espace 4

- Le cerveau interprète tout

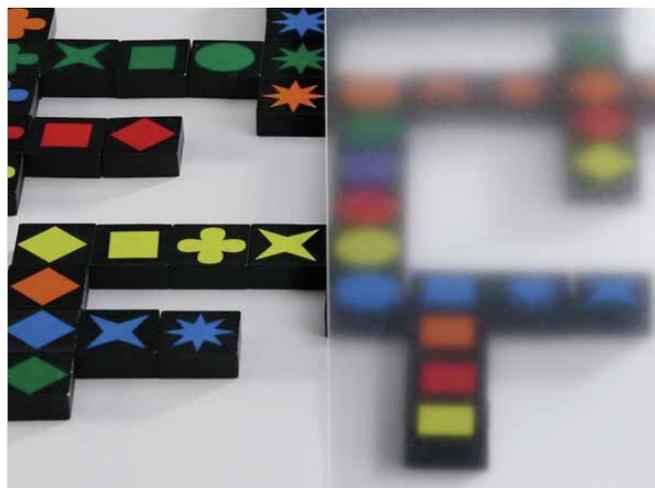
Le cerveau analyse l'inclinaison des rayons lumineux qu'il reçoit et l'interprète pour reconstruire leur trajectoire, et en déduire où se trouve l'objet observé.



Le cerveau interprète toujours le trajet de la lumière comme si elle venait en ligne droite depuis l'objet.

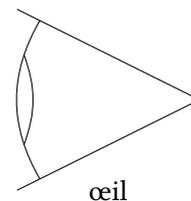


**Observation au travers d'un matériau rugueux :** Lorsque l'on observe un objet au travers d'un matériau rugueux, comme certaines pochettes de classeur, les rayons lumineux sont déviés de manière aléatoire en la traversant et le cerveau n'est plus capable de savoir d'où ils viennent. L'objet observé apparaît alors trouble, et ses formes sont moins discernables.



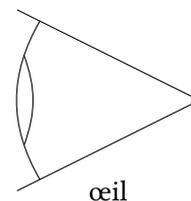
Source image : <https://www.byk-instruments.com>

objet ●



œil

objet ●



œil

**Mirages :** Lorsque la température dans l'air présente un fort contraste, la trajectoire des rayons lumineux n'est plus une ligne droite (le milieu n'est plus homogène) mais peut devenir une ligne courbe, voir figure 1. Pourtant, lorsque ces rayons atteignent l'œil, le cerveau les interprète toujours comme s'ils s'étaient propagés en ligne droite.

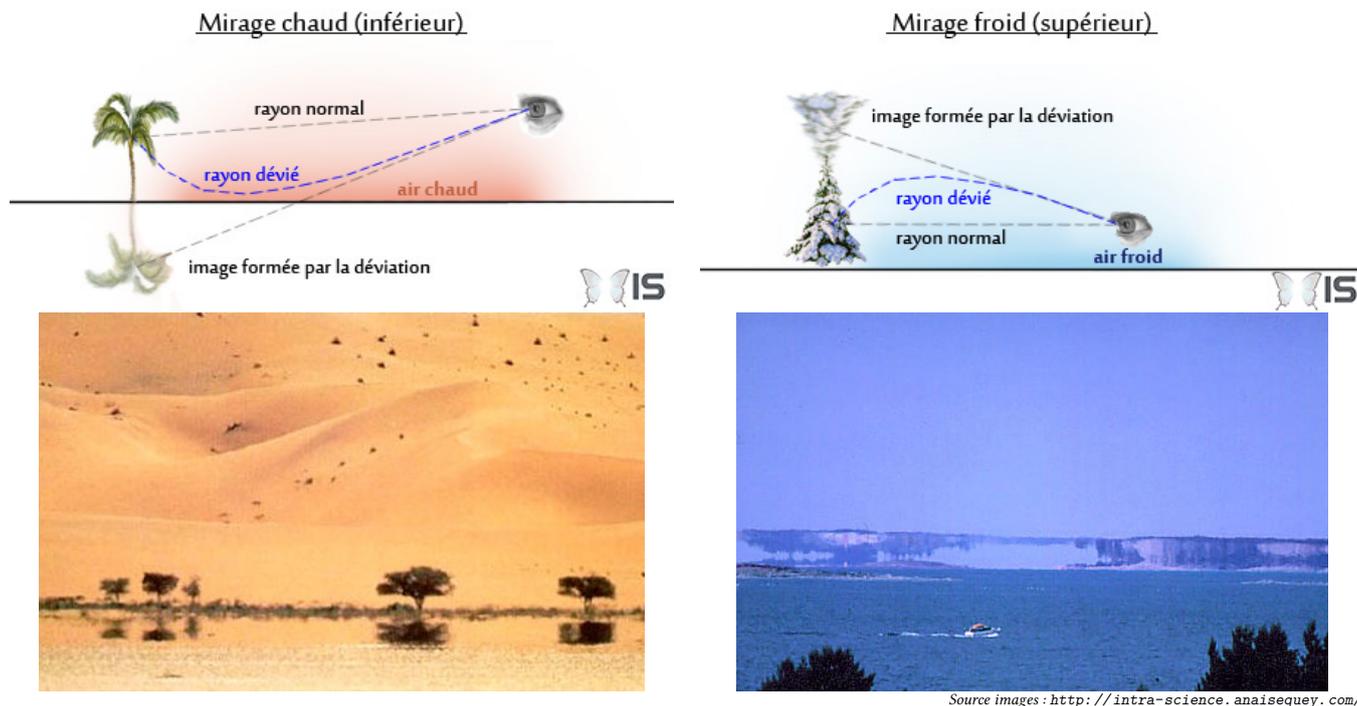


Figure 1 – Mirages.

• Généralisation : image réelle, image virtuelle

(R)

On appelle **système optique** un dispositif qui modifie le trajet des rayons lumineux.

On appelle **point objet** un point d'où sont issus des rayons lumineux entrant dans le système optique.

On appelle **point image réel** un point par lequel passent les rayons lumineux sortant du système optique issus d'un même point objet.

On appelle **point image virtuel** un point d'où semblent provenir les rayons sortant du système optique issus d'un même point objet mais par lequel ils ne passent pas réellement. C'est le prolongement rectiligne des rayons qui y passe.

Plus largement, on appelle **objet** ou **image** un ensemble de points objets ou de points images.

↪ une image virtuelle est une « illusion d'optique ».

*Exemple :* image virtuelle = image formée par le mirage

Espace 5

*Remarque :* En étudiant les systèmes optiques composés (chapitre O2), nous rencontrerons également des objets virtuels, c'est-à-dire des points d'où semblent provenir les rayons arrivant sur un système optique mais qui ne s'y croisent pas réellement. Un objet virtuel ne peut qu'être une image formée par un premier système optique qui sert d'objet à un second système (image intermédiaire).

Comment savoir expérimentalement si une image se forme en un point ?

on y place un écran, qui pourra dévier la lumière vers l'œil et on y verra l'image

Espace 6

(R)

Une image réelle peut toujours être observée sur un écran, une image virtuelle jamais.

## I.C - Stigmatisme et aplanétisme

L'image d'un objet par un système optique peut être déformée : c'est par exemple le cas pour le matériau rugueux. Le stigmatisme et l'aplanétisme sont des notions permettant de le caractériser plus précisément.

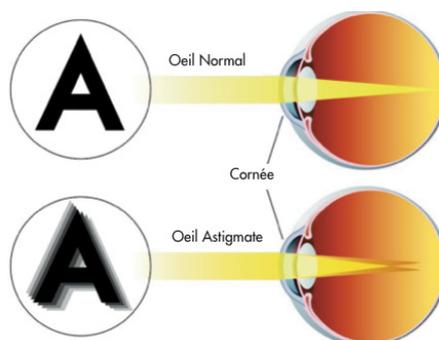
### • Stigmatisme et aplanétisme rigoureux

Un système optique ( $\Sigma$ ) est dit **stigmatique** si l'image qu'il forme de tout point objet  $A$  est un point image  $A'$ , par opposition à une tâche diffuse.

On dit alors que  $A$  et  $A'$  sont **conjugués** par ( $\Sigma$ ) et on note

$$A \xrightarrow{\Sigma} A'$$

**Remarque culturelle :** Comme son nom l'indique, l'astigmatisme est un défaut de vision où l'œil perd ses propriétés de stigmatisme.



L'aplanétisme concerne les **systèmes optiques centrés**, c'est-à-dire qui possèdent un axe de révolution appelé **axe optique**, traditionnellement noté  $\Delta$ .

#### Exemples :

*Lentille, lunette astro, microscope sont des systèmes centrés.*

*Périscopes de sous-marin ou grandes jumelles de surveillance marine n'en sont pas.*

Espace 7

Un système optique est dit **aplanétique** si l'image d'un objet perpendiculaire à l'axe optique est elle aussi perpendiculaire à l'axe optique.

### • Stigmatisme et aplanétisme approchés

Seul un miroir plan est rigoureusement stigmatique et aplanétique pour tout point objet, mais la plupart des systèmes optiques sont utilisés dans des conditions qui leur permettent de l'être approximativement ... et c'est en pratique suffisant.

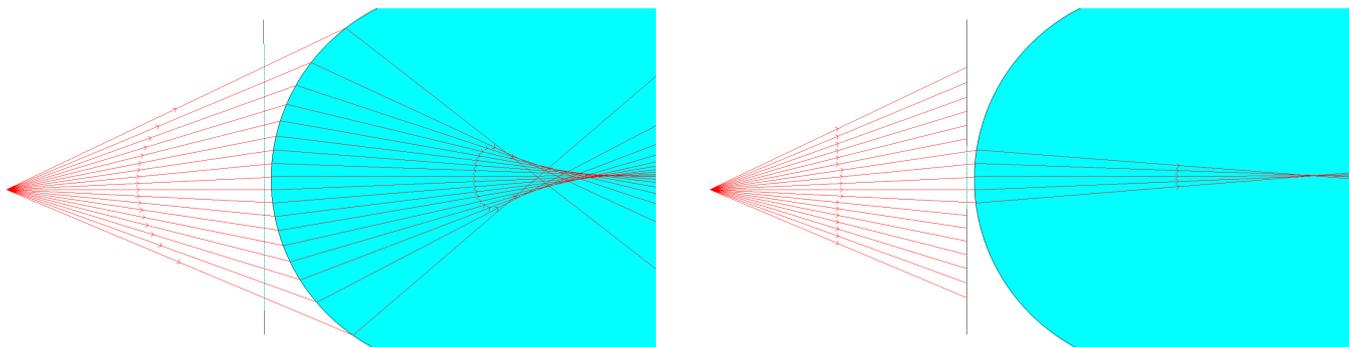
↪ tout capteur optique (œil inclus !) possède une résolution minimale, quantifiée par son **cercle de confusion** : deux points séparés d'une distance inférieure au diamètre du cercle de confusion sont indiscernables.

Un système optique peut être considéré approximativement stigmatique et aplanétique tant que les défauts associés sur l'image sont de diamètre inférieur à celui du cercle de confusion du capteur utilisé.

🚫🚫🚫 **Attention !** Le stigmatisme approché ne dépend pas que du système optique, mais aussi du capteur utilisé.

• **Conditions de Gauss**

**Simulation :** voir figure 2, réalisée avec le logiciel OptGeo, développé par J.-M. Biansan.



**Figure 2 – Mise en évidence des conditions de Gauss.** Une source émet des rayons dans toutes les directions, et un diaphragme permet de sélectionner ceux qui pénètrent dans le système optique (en l’occurrence une boule de verre) où l’on observe l’image formée.

**Généralisation :** on admet que les observations faites pour le système optique ci-dessus sont générales.

(R)

Le stigmatisme et l’aplanétisme sont d’autant meilleurs que

- les rayons lumineux sont proches de l’axe optique ;
- les rayons lumineux sont peu inclinés par rapport à l’axe optique.

De tels rayons sont dits **paraxiaux**, et ces conditions sont appelées **conditions de Gauss**.

De façon générale, un système utilisé dans les conditions de Gauss est considéré stigmatique et aplanétique ... même si on reste peu précis sur ce que signifie quantitativement être « peu incliné » et « proche » de l’axe optique.

## II - Formation d’images par une lentille

### II.A - Lentilles réelles et modélisation

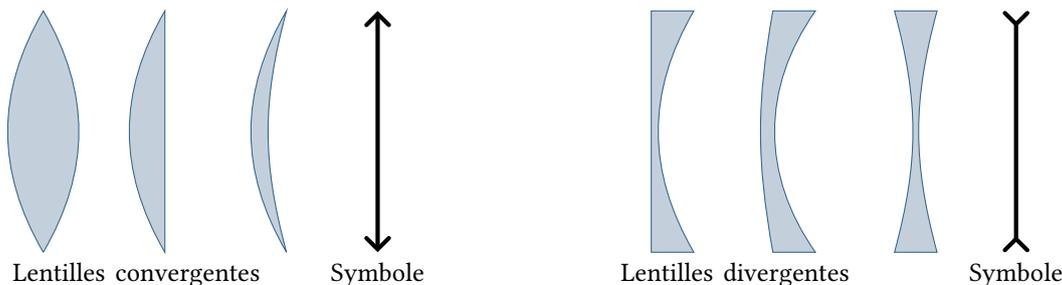
Une **lentille** est un système optique constitué d’un matériau transparent, dont les faces sont sphériques ou planes.

Elle est dite **mince** si le rayon de courbure de ses faces est très supérieur à son épaisseur.

Une lentille aux bords fins est **convergente** : elle fait converger en un point un faisceau parallèle incident.

Une lentille aux bords épais est **divergente** : elle écarte (= fait diverger) un faisceau parallèle incident.

Une lentille mince se symbolise par une double flèche, ce qui rappelle qu’elle est mince (pas d’épaisseur) et la façon dont évolue son épaisseur (bords plus ou moins épais que le centre).



Images réalisées à partir d’un code de Jimmy Roussel, <https://femto-physique.fr/>

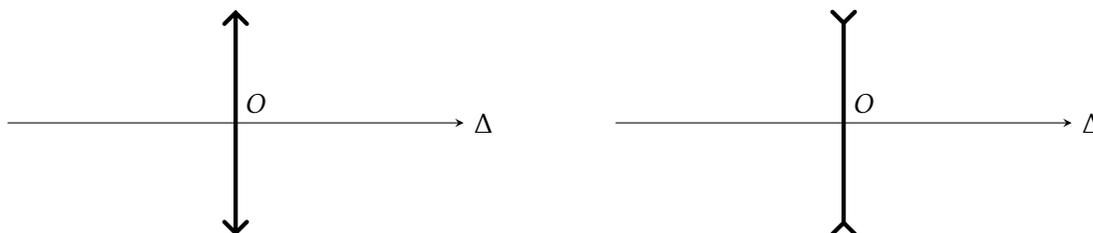
Une lentille mince utilisée dans les conditions de Gauss est stigmatique et aplanétique.

↪ hypothèse implicite dans toute la suite.

## II.B - Points particuliers

### • Centre optique

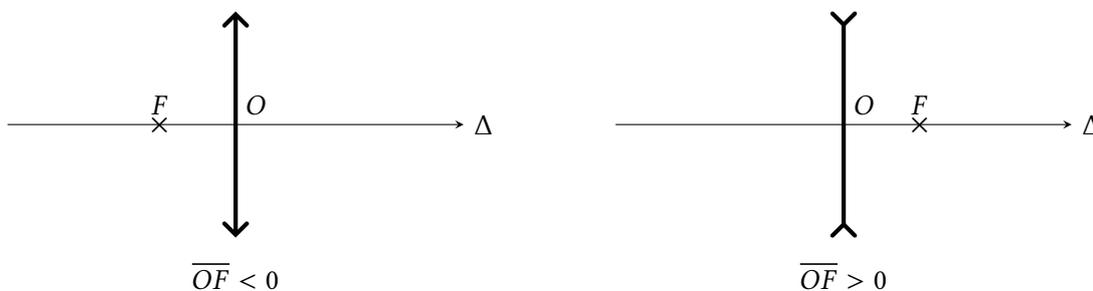
On appelle **centre optique**  $O$  d'une lentille son point d'intersection avec son axe optique.  
Un rayon passant par  $O$  n'est pas dévié par la lentille.



### • Foyers et distance focale

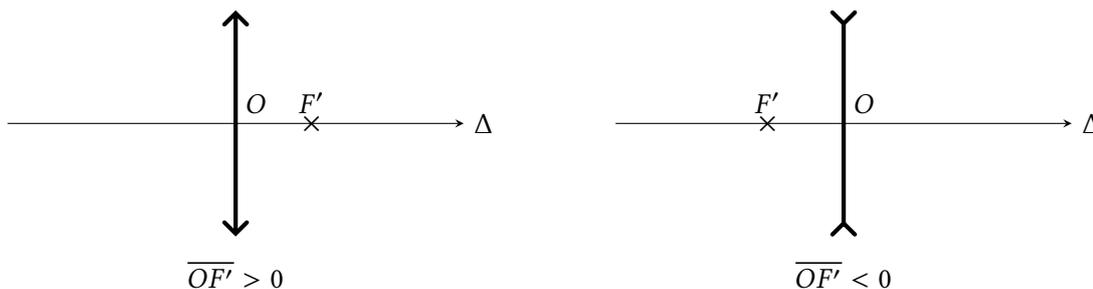
**Rappel** : l'axe optique est orienté dans le sens de propagation de la lumière, ce qui fixe le signe des distances algébriques, positives dans le sens de l'axe optique.

Tout rayon incident passant par le **foyer objet**  $F$  ressort de la lentille parallèlement à l'axe optique.  
Le foyer objet d'une lentille convergente se situe *avant* la lentille, celui d'une lentille divergente *après* :



On appelle **distance focale objet** la distance algébrique  $f = \overline{OF}$ .

Tout rayon arrivant sur la lentille parallèlement à l'axe optique ressort en passant par le **foyer image**  $F'$ .  
Le foyer image d'une lentille convergente se situe *après* la lentille, celui d'une lentille divergente *avant* :



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

Elle est toujours positive pour une lentille convergente, et négative pour une divergente.

Dans le cas d'une lentille divergente, les rayons eux-mêmes ne passent pas par  $F$  et  $F'$  qui ne sont pas « du bon côté » de la lentille : il faut considérer leur prolongement rectiligne (rayons virtuels).

Lorsque le milieu de propagation est le même des deux côtés de la lentille (implicitement de l'air), les foyers objet et image sont symétriques par rapport au centre optique.

→ conséquence :  $\overline{OF} = -\overline{OF'}$  soit  $f' = -f$

Espace 8

→ la distance focale objet est très peu utilisée en pratique, et la distance focale « tout court » désigne implicitement la distance focale image.

On appelle **vergence** d'une lentille la grandeur

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

La vergence s'exprime en **dioptries**  $\delta$  :  $1 \delta = 1 \text{ m}^{-1}$ .

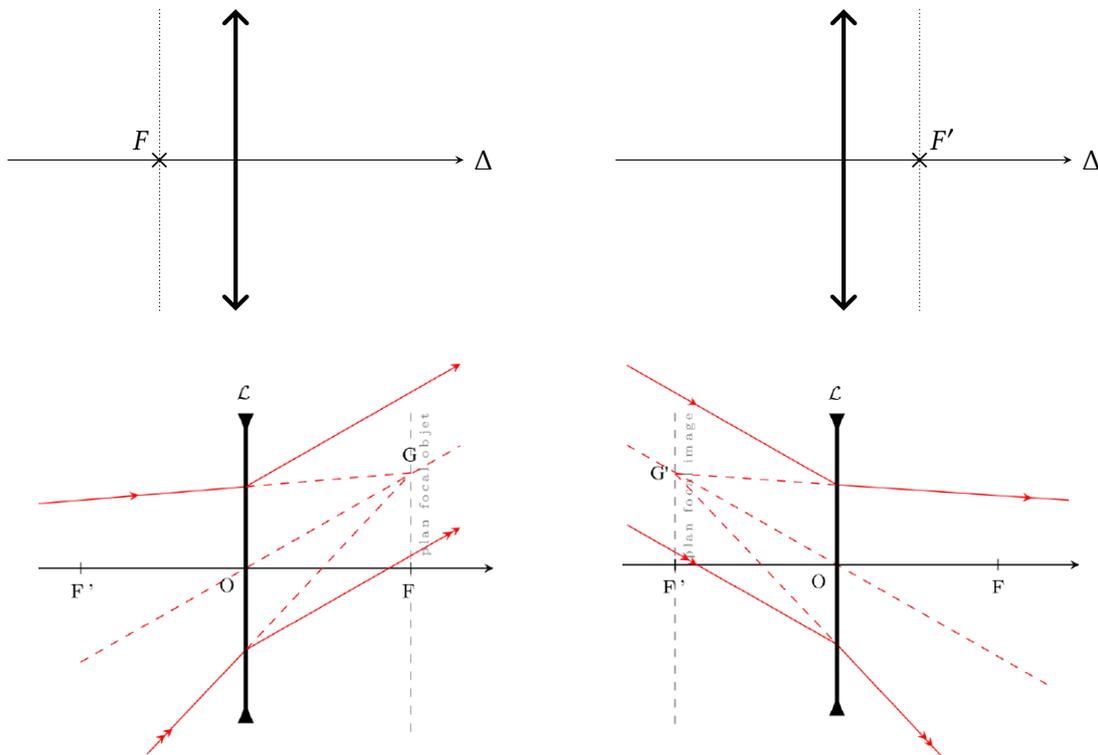
Une lentille de vergence positive est convergente, une autre de vergence négative est divergente.

*Remarque culturelle* : la dioptrie est l'unité usuelle pour exprimer la correction des verres de lunettes.

### • Plan focaux

Le **plan focal objet** est le plan perpendiculaire à l'axe optique contenant le foyer objet. Tous les rayons incidents issus d'un point du plan focal objet ressortent de la lentille parallèles entre eux, dans la direction donnée par le rayon non-dévié passant par  $O$ .

Le **plan focal image** est le plan perpendiculaire à l'axe optique contenant le foyer image. Deux rayons incidents parallèles entre eux se croisent dans le plan focal image.



Les points appartenant aux plans focaux sont parfois appelés **foyers secondaires de la lentille**.

## II.C - Construction d'images

La construction d'images repose sur le stigmatisme : si deux rayons issus du point objet  $A$  se coupent en un point  $A'$  (réel ou virtuel), il s'agit forcément de l'image de  $A$  par la lentille. Les deux rayons à tracer sont à choisir parmi les rayons particuliers :

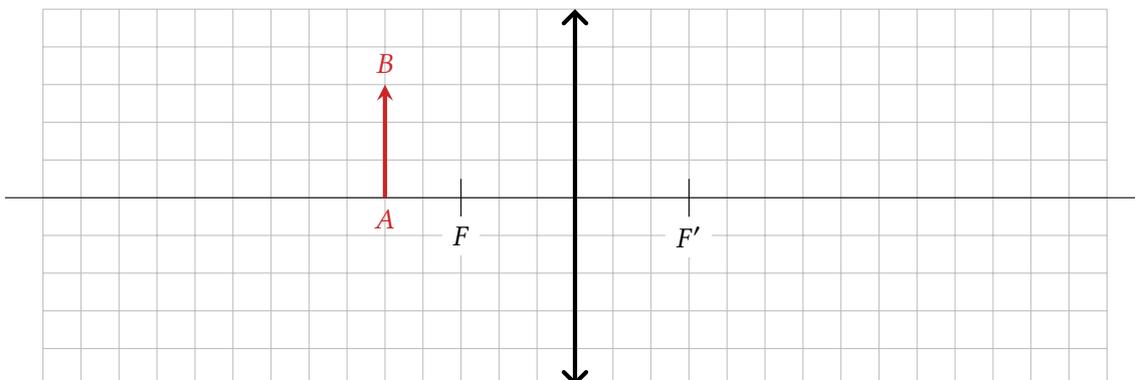
- le rayon issu de  $A$  passant par  $O$  n'est pas dévié ;
- le rayon issu de  $A$  parallèle à l'axe optique ressort en passant par  $F'$  ;
- le rayon issu de  $A$  passant par  $F$  ressort parallèle à l'axe optique.

**Application 1 : Construction d'images par une lentille convergente**

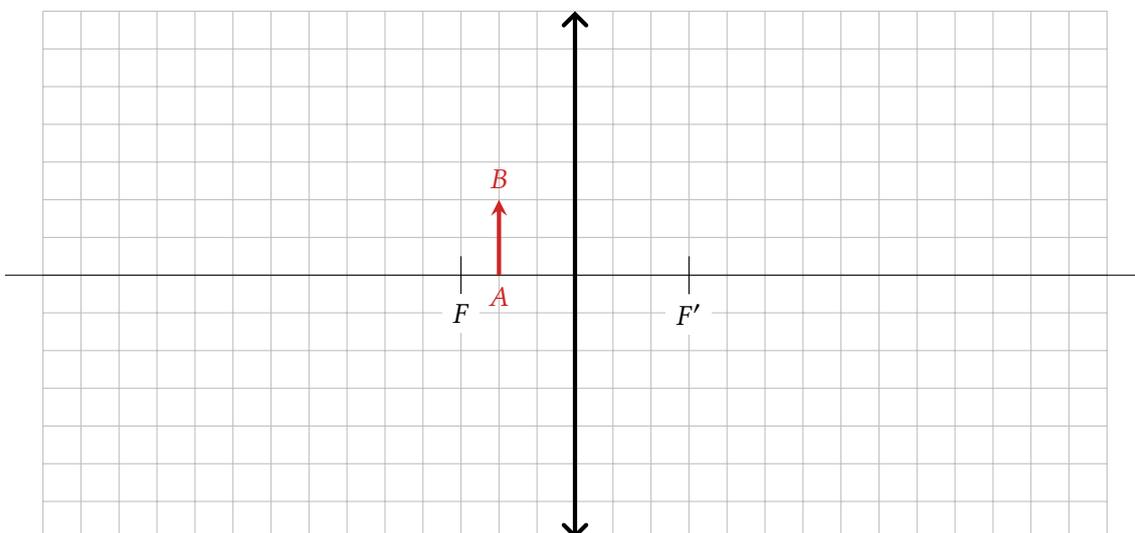


Construire l'image de l'objet  $AB$  sur les schémas ci-dessous.

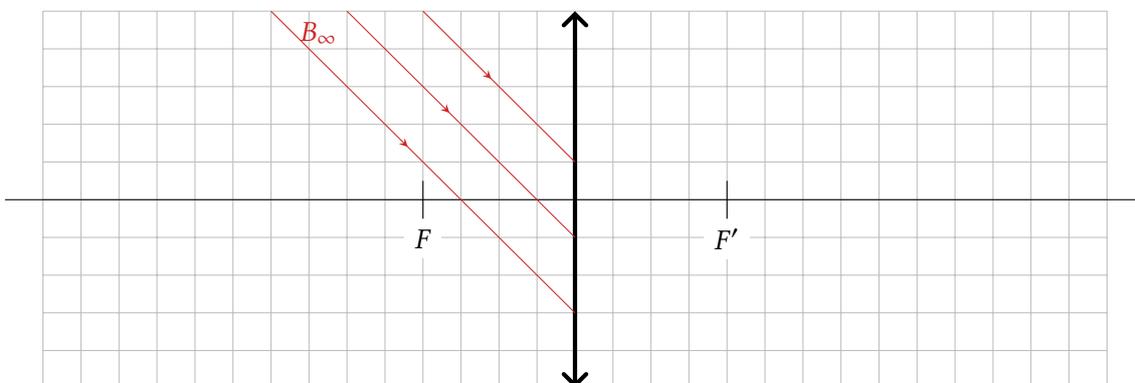
**1 - Objet réel situé avant le plan focal objet**



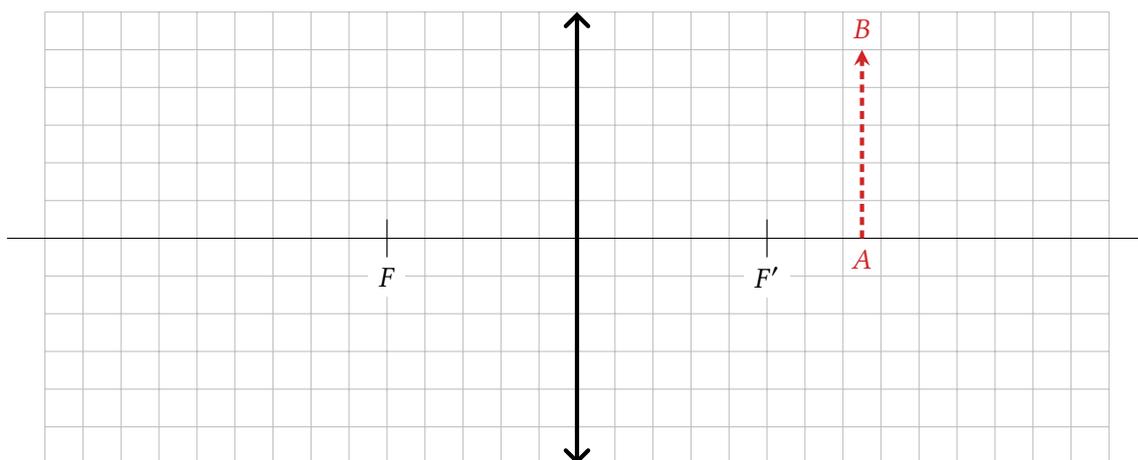
**2 - Objet réel situé entre le plan focal objet et la lentille**



**3 - Objet à l'infini : tous les rayons issus d'un objet à l'infini sont parallèles entre eux.**



**4 - Objet virtuel :** cet objet est forcément formé par une autre lentille, qui aurait été placée avant celle que l'on considère ici.

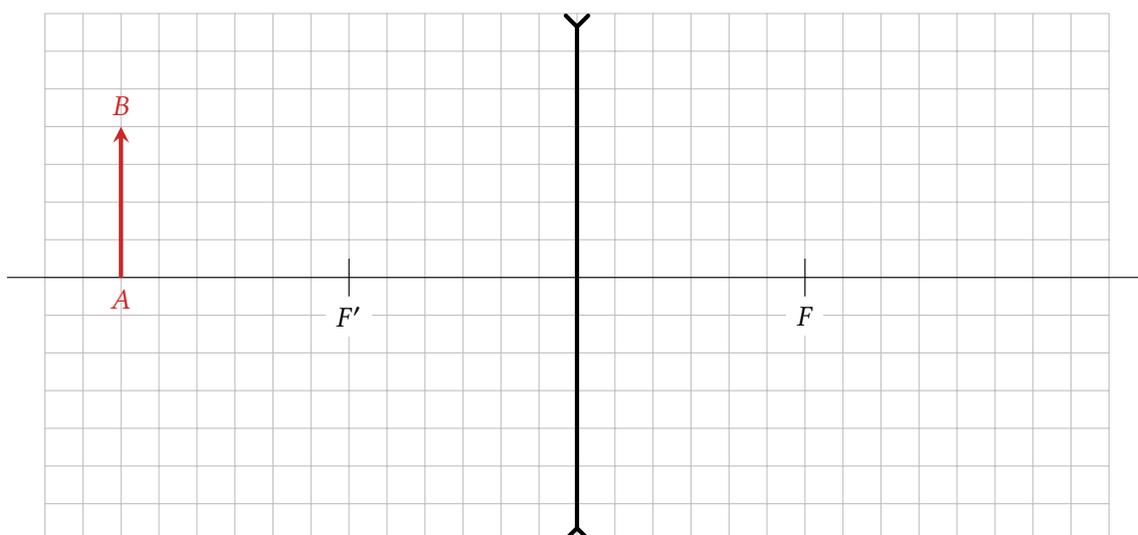


M

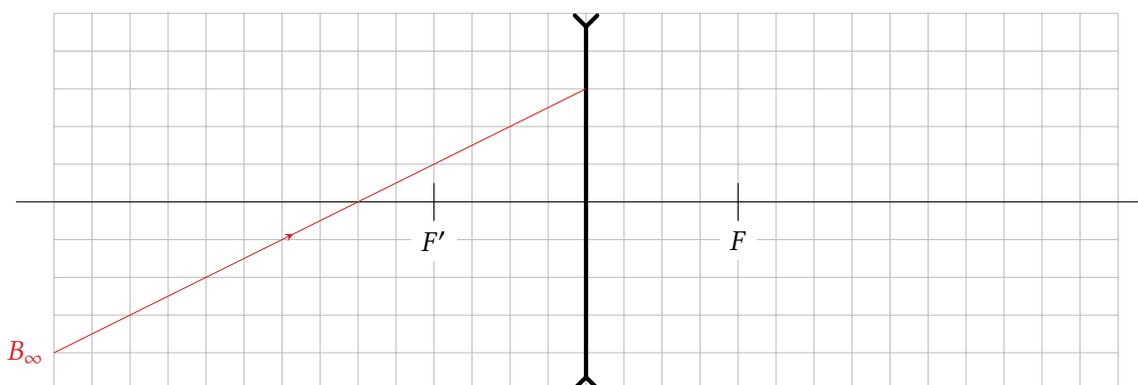
### Application 2 : Construction d'images par une lentille divergente

Construire l'image de l'objet  $AB$  sur les schémas ci-dessous.

#### 1 - Objet réel

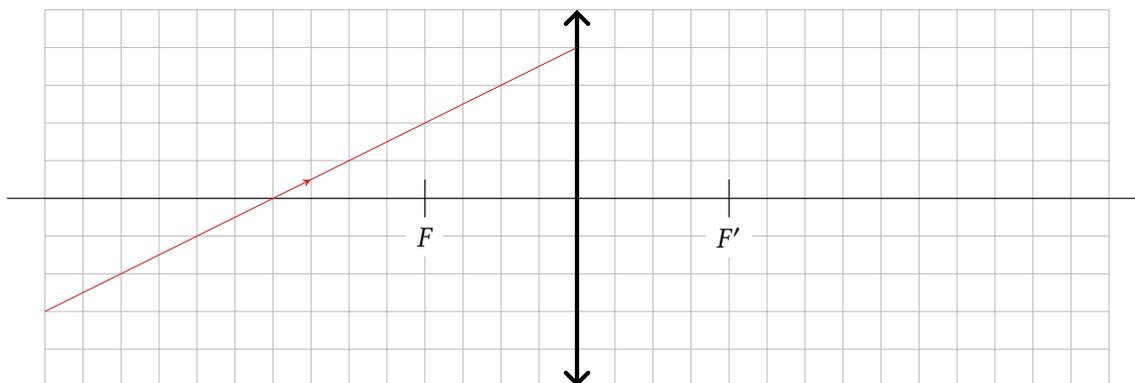


#### 2 - Objet à l'infini



### Application 3 : Prolongation d'un rayon

Prolonger le rayon représenté en sortie de la lentille.



**Méthode :** utiliser la propriété que deux rayons incidents parallèles se coupent dans le plan focal image de la lentille, en prenant le rayon non-dévié comme second rayon.

## III - Relations de conjugaison et de grandissement

### III.A - Grandissement

#### • Définition

Les distances dans la direction perpendiculaire à l'axe optique sont également algébrisées, comptées positives vers le haut.

On appelle **grandissement** d'un objet  $AB$  perpendiculaire à l'axe optique le rapport

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

▷ image **droite** = même sens que l'objet :  $\gamma > 0$

▷ image **agrandie** :  $|\gamma| > 1$

Espace 9

Espace 11

▷ image **renversée** :  $\gamma < 0$

▷ image **réduite** :  $|\gamma| < 1$

Espace 10

Espace 12

#### • Relations de grandissement

Une relation de grandissement permet d'exprimer le grandissement en fonction uniquement de la position de l'objet et/ou de l'image le long de l'axe optique.

**Démonstration :** établissons les relations de grandissement pour une lentille convergente, dans la situation où un objet réel donne une image réelle, voir figure 3.

En identifiant les tangentes, et en étant vigilant au signe des angles :

$$\tan \alpha = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{OA'}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{OA}} \quad \text{d'où} \quad \boxed{\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}}$$

De même,

$$\tan \beta = \frac{\overline{AB}}{\overline{FA}} = \frac{\overline{OJ}}{\overline{FO}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{-f}} \quad \text{d'où} \quad \boxed{\gamma = \frac{f'}{\overline{FA}}}$$

et enfin

$$\tan \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{F'A}} = \frac{\overline{OI}}{\overline{F'O}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{-f'}} \quad \text{d'où} \quad \boxed{\gamma = -\frac{\overline{F'A'}}{\overline{f'}}$$

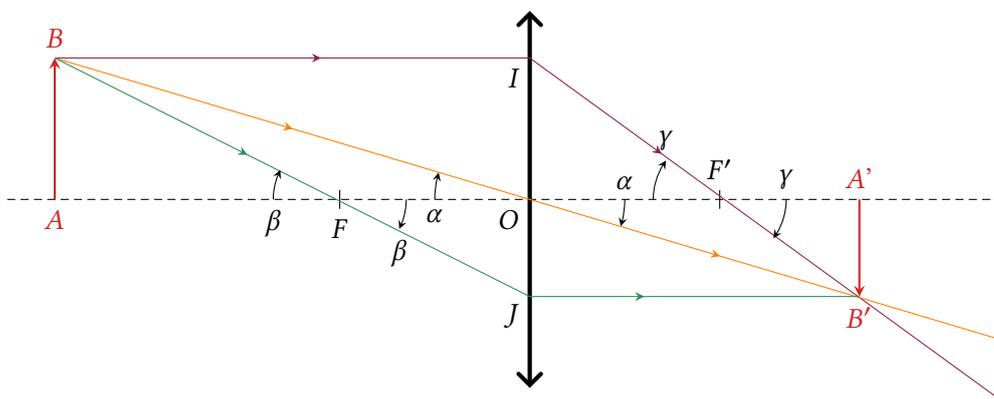


Figure 3 – Formation d'une image réelle par une lentille convergente.

Espace 13

**Généralisation :** on peut montrer que ces relations s'écrivent à l'identique dans toutes les situations, et avec les deux types de lentilles.

R



Le grandissement d'un objet par une lentille mince est donné par les relations

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{f'}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$$

M

#### Application 4 : Image agrandie

Déterminer la position des objets dont l'image par une lentille convergente est agrandie. La représenter sur un schéma.

### III.B - Relations de conjugaison

Les relations de conjugaison permettent de déterminer la position de l'image connaissant celle de l'objet.

- Relation de conjugaison de Newton avec origine aux foyers

#### Démonstration :

D

Produit en croix dans les relations de grandissement

Espace 14

R



#### Relation de conjugaison de Newton :

$$\overline{FA} \overline{F'A'} = -f'^2$$

**Remarque :** Le plus utile est souvent d'interpréter cette relation comme une invariance vis-à-vis de A :

$$\forall A, \quad \overline{FAF'A'} = cte.$$

L'appliquer en prenant  $A = A' = O$  (le centre optique est son propre conjugué!) permet d'ailleurs de retrouver le résultat.

• **Relation de conjugaison de Descartes avec origine au centre optique**

**Démonstration :** On introduit le centre optique dans la relation de Newton,

$$(\overline{FO} + \overline{OA})(\overline{F'O} + \overline{OA'}) = -f'^2 \quad \text{d'où} \quad -f' \overline{OA} + f' \overline{OA'} + \overline{OA} \overline{OA'} = 0$$

et en divisant par  $f' \overline{OA} \overline{OA'}$ , il vient

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}.$$

Espace 15

**Relation de conjugaison de Descartes :**

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

R

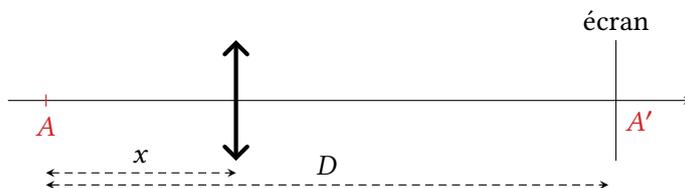
**Application 5 : Objet réel, image réelle**

Déterminer la position des objets réels dont l'image par une lentille convergente est réelle, et la représenter sur un schéma. Même question pour une lentille divergente.

**III.C - Former une image sur un écran à distance connue**

Une problématique courante est celle de choisir la lentille adéquate lorsque la distance  $D$  entre l'objet et l'écran est imposée et connue : c'est par exemple le cas pour tous les systèmes de projection (cinéma, vidéoprojecteur, etc.)

~> le paramètre est cette fois-ci la distance  $D = \overline{AA'}$  et on cherche la position de la lentille.



La relation de conjugaison s'écrit dans cette situation

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \quad \text{soit} \quad \frac{1}{D-x} - \frac{1}{-x} = \frac{1}{f'} \quad \text{d'où} \quad x^2 - Dx + Df' = 0.$$

Il n'est possible de former l'image que si cette équation admet des racines réelles, donc si son discriminant est positif :

$$D^2 - 4Df' \geq 0 \quad \text{soit} \quad f' \leq \frac{D}{4}.$$

Les deux positions sont alors

$$x_{\pm} = \frac{D \pm \sqrt{D(D - 4f')}}{2}$$

On constate qu'elles sont symétriques par rapport au milieu du segment  $AA'$ , ce qui est cohérent avec le principe de retour inverse.

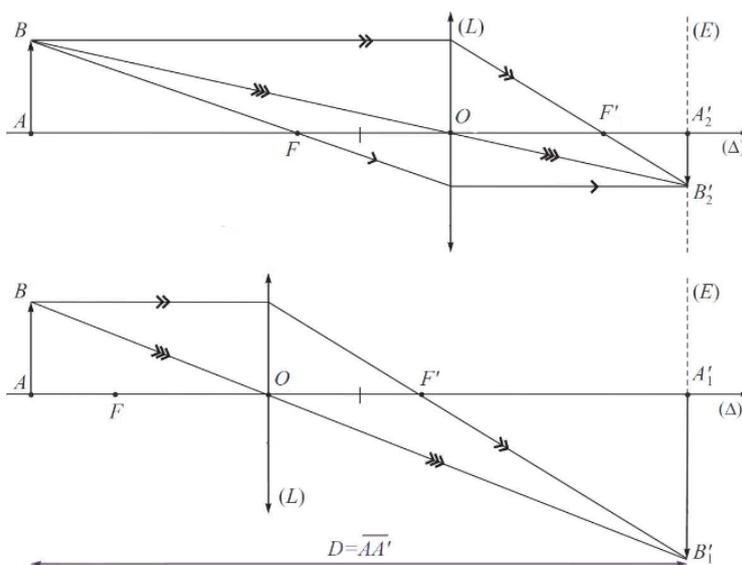
Espace 16

R

Une lentille ne permet de former une image sur un écran situé à distance  $D$  de l'objet que si sa focale est suffisamment petite,

$$f' \leq \frac{D}{4}.$$

Deux positions de la lentille peuvent alors convenir.

Source image : <https://www.sosryko.fr>

M

### Application 6 : Grandissement de l'image sur l'écran

Q

Montrer que l'une de ces deux positions donne une image agrandie et l'autre réduite, comme on peut le constater sur les schémas ci-dessus.

## Correction des applications de cours

### Application 4 : Image agrandie

On cherche les distances (algébriques)  $\overline{OA}$  ou  $\overline{FA}$  permettant d'obtenir un grandissement  $|\gamma| > 1$  ... et on utilise la relation la plus pratique. Comme on ne s'intéresse pas à la position de l'image, on cherche une relation qui implique  $\gamma$  et uniquement la position de l'objet.

↪ relation de grandissement avec origine au foyer.

$$\gamma = \frac{f'}{\overline{FA}}$$

On en déduit que l'on cherche  $\overline{FA}$  tel que

$$|\gamma| = \left| \frac{f'}{\overline{FA}} \right| = \frac{f'}{|\overline{FA}|} > 1 \quad \text{soit} \quad |\overline{FA}| < f'$$

Schéma figure 4.

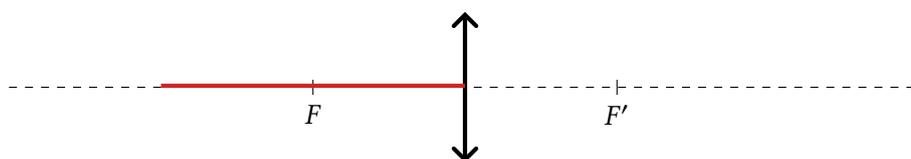


Figure 4 – Position des objets permettant de former une image agrandie par une lentille convergente.

### Application 5 : Objet réel, image réelle

La nature réelle de l'image est plus simple à exprimer à partir de la relation de conjugaison de Descartes, c'est donc elle que l'on utilise. Puisque l'image est réelle, on cherche  $\overline{OA}$  tel que

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{\overline{OA}} > 0 \quad \text{soit} \quad \frac{1}{\overline{OA}} > -\frac{1}{f'}$$

⚠⚠⚠ **Attention !** On ne peut pas inverser l'inégalité sans précaution, car la fonction inverse n'est pas monotone sur  $\mathbb{R}$  !

Si la lentille est convergente  $f' > 0$  et comme  $\overline{OA} < 0$  les deux membres sont de même signe : on peut inverser, ce qui donne

$$\overline{OA} < -f'$$

Tous les points à gauche du foyer objet  $F$  donnent une image réelle.

Si la lentille est divergente,  $-1/f' > 0$  donc  $\overline{OA} > 0$  ... ce qui est contradictoire avec le fait que l'objet soit réel. Ainsi, un objet réel ne peut pas former une image réelle par une lentille divergente.

### Application 6 : Image agrandie

Le grandissement vaut  $\gamma = \overline{OA'}/\overline{OA}$  : l'image est agrandie si  $|\overline{OA'}| > |\overline{OA}|$ , c'est-à-dire si la lentille est plus proche de l'objet que de l'écran.



## Expériences de cours

Date et salle :

**Expérience : on ne voit pas la lumière en tant que telle**

- Un laser monté sur un pied
- Un truc plein de poussière de craie (effaceur de tableau, etc.)

**Expérience : condition  $f' < D/4$**

- Un banc optique ;
- Objet lumineux ;
- Deux lentilles de focale 20 cm et  $>50$  cm.

Merci ☺