

OG2 : Formation des images



L'optique géométrique permet d'expliquer la formation des images sur la rétine, et de proposer une correction adaptée avec des lunettes ou des lentilles de contact lorsque l'image donnée par le cristallin n'est pas nette sur la rétine.

Plan du cours

Plan du cours	
I Notion d'objet et d'image en optique	2
II Conventions en optique géométrique	3
III Miroir plan	3
IV Systèmes centrés et conditions de Gauss	4
IV.1 Exemple de la lentille demi-boule	4
IV.2 Conditions de Gauss	6
V Les lentilles minces	6
V.1 Le modèle des lentilles minces	6
V.2 Centre optique et foyers	6
V.3 Foyers secondaires	13
V.4 Rel. de conjugaison et grandissement	15
V.5 Projection sur un écran	17
VI Modèles de dispositifs optiques	18
VI.1 L'œil	18
VI.2 L'appareil photo	20

À savoir par

- ✓ Conditions de stigmatisme approché.
 - ✓ Définitions et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence.
 - ✓ Condition pour former l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente ($D \geq 4f'$).
 - ✓ Ordres de grandeur de la limite de la résolution angulaire et de la plage d'accommodation de l'œil.

À savoir faire

- ✓ Construire l'image d'un objet par un miroir plan et identifier sa nature réelle/virtuelle.
 - ✓ Construire l'image par une lentille d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
 - ✓ Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal de Descartes et Newton.
 - ✓ Choisir de façon pertinente dans un contexte donné la formulation (Descartes ou Newton) la plus adaptée.
 - ✓ Établir la condition $D \geq 4f'$ pour former l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.
 - ✓ Modéliser l'œil comme l'association : lentille de vergence variable + capteur fixe.
 - ✓ Modéliser l'appareil photo comme l'association : lentille de vergence fixe et position variable + capteur fixe.
 - ✓ Déterminer par construction graphique la profondeur de champ d'un appareil photo.
 - ✓ Établir l'expression du champ angulaire d'un appareil réglé à l'infini.
 - ✓ Expliquer les conséquences des modifications de la focale et de l'ouverture d'un appareil photo.

I Notion d'objet et d'image en optique

♥ Définitions

Système optique : ensemble de composants optiques (dioptriques ou miroirs) rencontrés successivement par les rayons lumineux.

Rayon incident : rayon qui arrive sur le système optique.

Rayon émergent : rayon qui sort du système optique.

- Un **point objet réel** est un point d'où partent les rayons incidents.
- Un **point objet virtuel** est un point où se coupent les prolongements des rayons incidents.
- Un **point objet est à l'infini** lorsque tous les rayons qu'il émet arrivent parallèles entre eux sur le système optique.

- Image :**
- Un **point image réel** est un point où se croisent réellement les rayons lumineux émergents, on obtient un point lumineux sur un écran placé à cet endroit.
 - Un **point image virtuel** est un point où se coupent les prolongements des rayons lumineux émergents.
 - Un **point image est à l'infini** lorsque tous les rayons sortant du système optique sont parallèles entre eux.



♥ Remarque

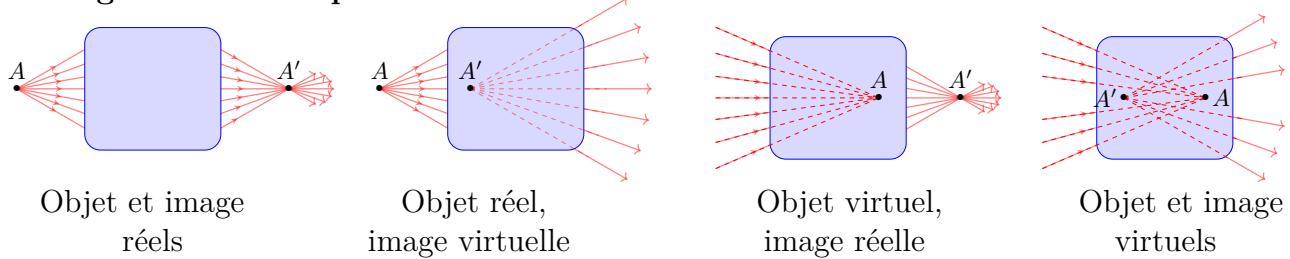
Les notions d'objet et d'image sont relatives : ce qui constitue un point image pour un élément du système optique peut constituer un point objet pour un autre situé en aval.



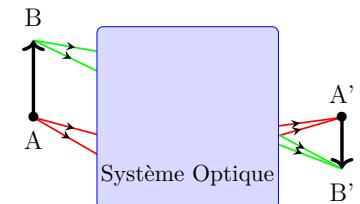
♥ Notions de stigmatisme et d'aplanétisme

Stigmatisme : un système optique est stigmatique si l'image d'un point objet A est un point image A' : tous les rayons issus de A émergent du système optique en passant par A' . On dit que A et A' sont conjugués par le système optique.

4 configurations sont possibles :



Aplanétisme : un système optique est aplanétique si pour un couple de points conjugués A et A' , le conjugué B' de B situé dans le plan transverse contenant A se trouve dans le plan transverse contenant A' .



♥ Remarques

- Si la taille de l'image est inférieure à la taille du détecteur (cellule d'un capteur CCD, ou cône/bâtonnet pour l'œil), on parle de stigmatisme approché.
- De même, on parle d'aplanétisme approché lorsque les images d'objets dans le même plan sont vus quasiment dans le même plan par l'observateur.

★ Formules utiles

Pour un système optique stigmatique et aplanétique, la position et la taille de l'objet et de son image conjuguée sont reliées par :

- **Les relations de conjugaison** : elles relient la position d'un point objet situé sur l'axe optique à la position du point image conjugué.
- **La formule du grandissement** : elle donne l'expression du grandissement transversal, noté γ et défini comme le rapport algébrique de la taille de l'image sur celle de l'objet :

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

Ces formules seront explicitées plus loin pour le miroir et les lentilles minces.

II Conventions en optique géométrique

★ Conventions pour les tracés :

- Les rayons doivent être tracés à la règle, et chaque rayon avec un stylo (ou feutre fin) de couleur différente.
- Les rayons doivent être orientés par une **flèche**.
- Les rayons incidents sont tracés en traits pleins, avec une flèche dessus avant le système optique, et leurs prolongements après le système optique sont tracés en traits pointillés.
- Les rayons émergents sont tracés en traits pleins, avec une flèche dessus après le système optique, et leurs prolongements avant le système optique sont tracés en traits pointillés.

★ Convention pour les mesures

Mesure algébrique : en optique, on utilise les mesures algébriques, notées avec une barre au-dessus (\overline{OA}) qui renseignent sur la distance qui sépare les deux points, et sur le sens dans lequel est mesurée la distance, avec les conventions suivantes :

- Le long de l'axe optique (= axe de symétrie du système optique), le sens positif est le sens de la lumière incidente.
- Perpendiculairement à l'axe optique, le sens positif est souvent choisi « vers le haut ».

III Miroir plan

❤ Définition et propriété

Un miroir plan est une surface plane réfléchissante, que l'on représente par une droite et des hachures du côté où la lumière ne pénètre pas.

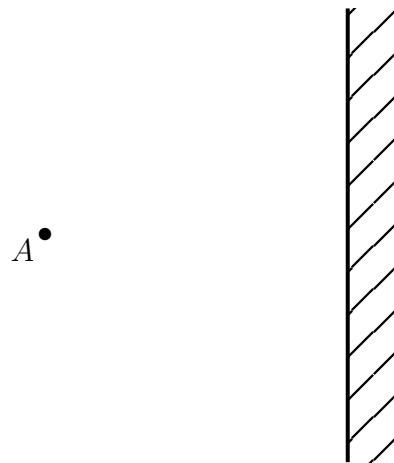
Le miroir plan est le seul système optique rigoureusement stigmatique et aplanétique pour tous les points.



Exercice de cours A

Soit une source ponctuelle placée en un point A et un miroir plan.

- Tracer, de 3 couleurs différentes, 3 rayons incidents issus de A et frappant le miroir en trois points différents.
- Tracer le trajet des rayons une fois réfléchis par le miroir.
- Tracer le prolongement en pointillés (ces rayons n'existent pas) des rayons réfléchis dans la partie arrière de (\mathcal{M}). Commenter.



Démonstration

Démontrer que le miroir plan est rigoureusement stigmatique et aplanétique, et que A' est le symétrique de A par rapport au miroir plan.

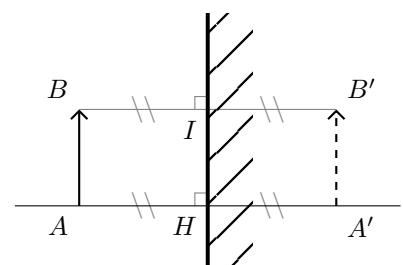
Image d'un objet par un miroir plan

Construction géométrique :

A' est le symétrique orthogonal de A

Relation de conjugaison du miroir plan : $\overline{AH} = \overline{HA'}$
où H est le projeté orthogonal de A sur le miroir

Formule du grandissement du miroir plan : $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = 1$

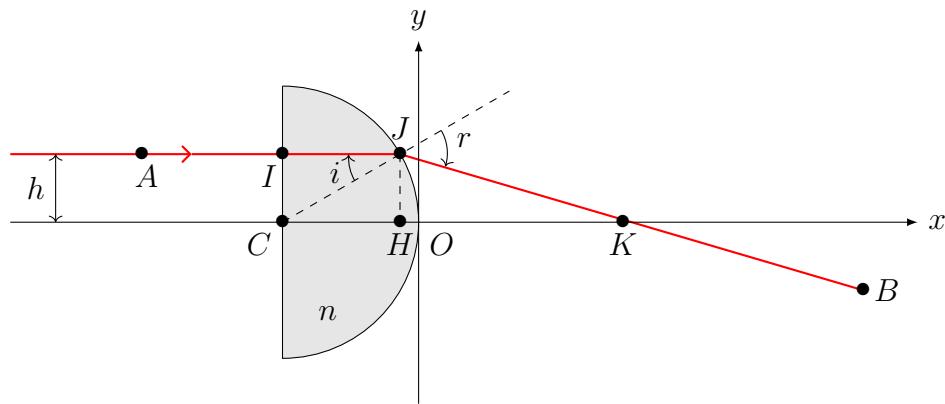


IV Systèmes centrés et conditions de Gauss

Un système optique centré est un système optique dont les éléments constitutifs ont un axe de symétrie commun. Cet axe est appelé **axe optique**.

IV.1 Exemple de la lentille demi-boule

L'application des lois de Snell-Descartes sur les 2 dioptres de la lentille demi-boule permet de déterminer la marche de rayons lumineux provenant d'un point objet réel situé à distance infinie dans la direction de l'axe optique :



Simulation

Nous allons utiliser le script Python ci-dessous pour tester le stigmatisme d'une telle lentille :

```

1: import numpy as np
2: import matplotlib.pyplot as plt
3:
4: # PARAMÈTRES
5: R=1 # rayon du dioptre sphérique ( en mètres )
6: n=1.5 # indice de la lentille
7: hmax=0.2 # distance maximale du rayon incident ( en mètres )
8: N=10
9:
10: # PRÉPARATION DE LA FIGURE
11: fig = plt.figure(figsize=(12,8))
12: plt.plot([-2*R,5*R],np.zeros(2),"--k") # axe optique
13: fig.axes[0].set_aspect("equal") # même échelle sur les deux axes
14: plt.xlim(-2*R,5*R)
15: plt.xlabel("x(m)")
16: plt.ylabel("y(m)")
17: # Dioptre sphérique
18: theta=np.linspace(-np.pi/2,np.pi/2,101)
19: xd=R*np.cos(theta)-R
20: yd=R*np.sin(theta)
21: plt.plot(xd,yd,"k")
22: plt.plot([xd[0],xd[-1]],[yd[0],yd[-1]],"k")
23:
24: # TRACÉ DE RAYONS
25: for h in np.linspace(-hmax,hmax,N):
26: # Coordonnées des différents points
27:     xA,yA=(-2*R,h) # coordonnées du point A
28:     xI,yI=(-R,h) # coordonnées du point I
29:     xJ,yJ=(np.sqrt(R**2-h**2)-R,h) # coordonnées du point J
30: # Angles au niveau du dioptre sphérique
31:     i=np.arcsin(h/R) # angle d'incidence
32:     r=np.arcsin(n*h/R) # angle de réfraction
33:     xK,yK=(xJ+h/np.tan(r-i),0) # coordonnées du point K
34:     xB,yB=(2*xK-xJ,-h) # coordonnées du point B
35: # Tracé de la marche des rayons
36:     x=[xA,xI,xJ,xK,xB]
37:     y=[yA,yI,yJ,yK,yB]
38:     plt.plot(x,y,"red")
39: plt.show()

```

- Q1. Sachant que la fonction `np.linspace` permet d'obtenir un tableau 1D allant d'une valeur de départ à une valeur de fin avec un nombre donné d'éléments, quelles lignes faut-il modifier pour tracer 8 rayons répartis sur toute la face d'entrée de la lentille ? (répondre ci-dessus).
- Q2. Que se passe-t-il pour les rayons trop éloignés de l'axe optique ? Pourquoi ?
- Q3. Dans quelles conditions le stigmatisme est-il le meilleur ?

IV.2 Conditions de Gauss

Propriété

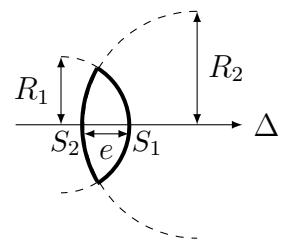
Les systèmes optiques centrés réalisent un stigmatisme et un aplanétisme approchés dans les **conditions de Gauss**, définies par :

- les rayons sont **peu inclinés par rapport à l'axe optique**
- ET
- les rayons sont **proches de l'axe optique**

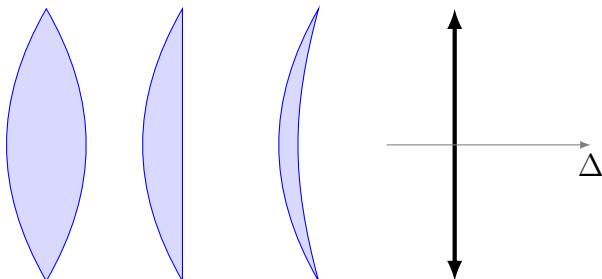
V Les lentilles minces

V.1 Le modèle des lentilles minces

Une lentille est un matériau transparent, homogène et isotrope délimité par deux dioptres dont l'un au moins est sphérique, elle est dite mince si son épaisseur e est très petite devant les rayons de courbure R_1 et R_2 des dioptres qui la délimitent, de sorte que l'on puisse les confondre en un même point appelé centre de la lentille, noté O ($S_1 \approx S_2 \equiv O$). L'axe de révolution de la lentille est appelé axe optique et se note Δ .

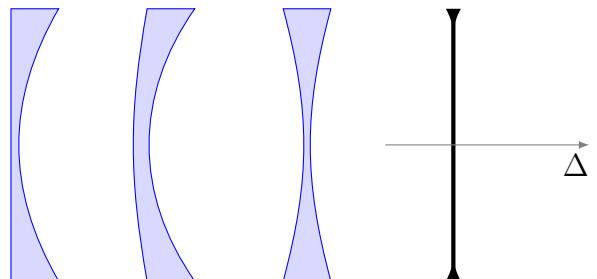


Il existe 2 types de lentilles :



Lentilles convergentes
(à bords minces)

Symbol



Lentilles divergentes
(à bords épais)

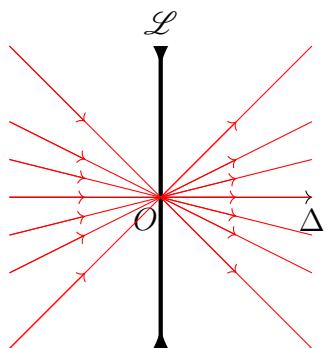
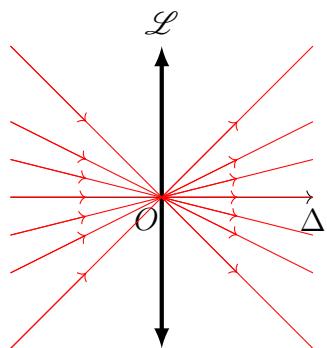
Symbol

V.2 Centre optique et foyers

Propriété du centre optique

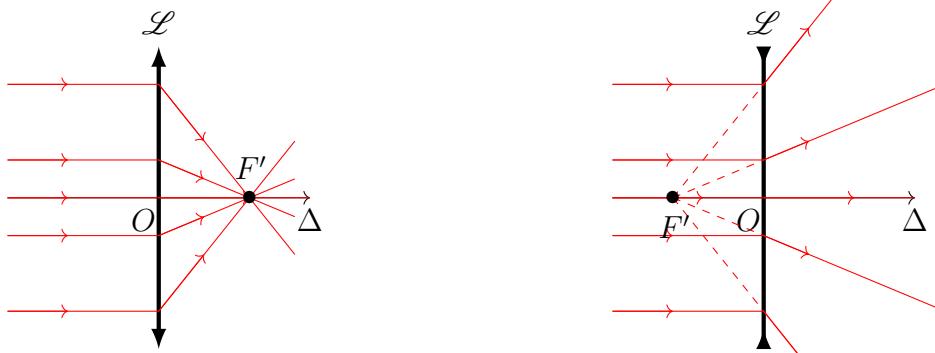
Le centre optique O est situé au centre de la lentille sur l'axe optique.

Les rayons qui passent par le centre optique ne sont pas déviés.



❤ Propriété du foyer principal image

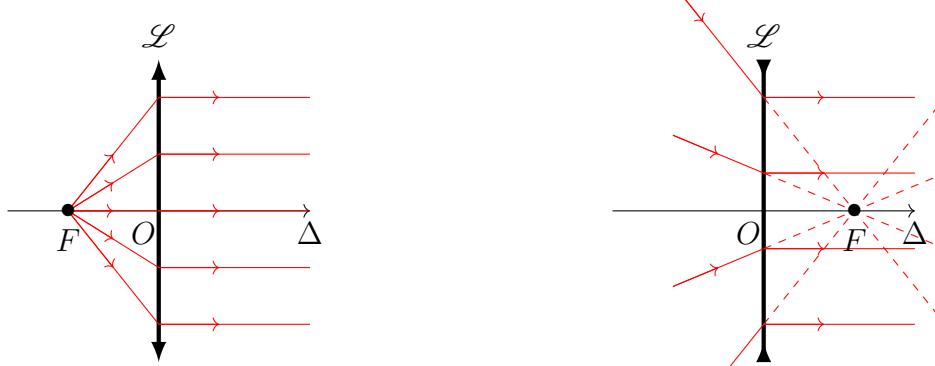
Le foyer principal image F' est l'image d'un point objet situé à l'infini sur l'axe.



On appelle plan focal image, le plan perpendiculaire à l'axe optique passant par F' .

❤ Propriété du foyer principal objet

L'image d'un objet situé au foyer principal objet F est envoyée à l'infini.



On appelle plan focal objet, le plan perpendiculaire à l'axe optique et passant par F .

❤ Distances focales et vergence

La distance focale image, notée f' , est définie par la mesure algébrique $\overline{OF'}$.

La vergence V est définie comme l'inverse de la distance focale :

$$V = \frac{1}{f'} = \frac{1}{\overline{OF'}} \quad \text{avec } f' \text{ en m et } V \text{ en } \delta \text{ (dioptries)}$$

La distance focale objet, notée f est définie par la mesure algébrique \overline{OF} . On a donc $f' = -f$.



Remarques

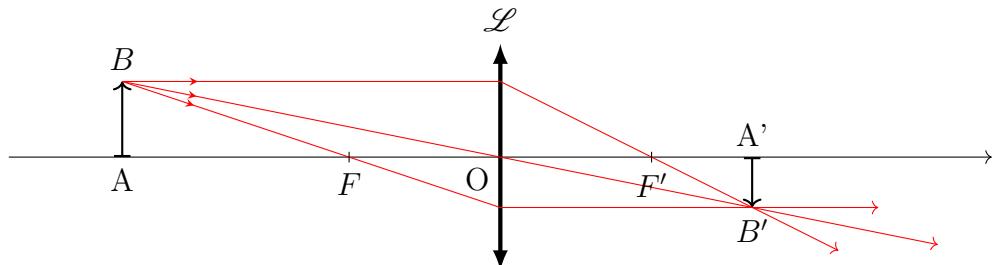
- Pour les lentilles convergentes, les foyers sont réels ($\overline{OF} < 0$ et $\overline{OF'} > 0$, et $f' > 0$).
- Pour les lentilles divergentes, les foyers sont virtuels ($\overline{OF} > 0$ et $\overline{OF'} < 0$, et $f' < 0$).
- Les foyers principaux F et F' sont **symétriques par rapport au centre optique O** (mais ils ne sont pas conjugués l'un de l'autre!).
- Il ne faut pas confondre les lettres majuscules F et F' (= des points) et les lettres minuscules f et f' (= des distances algébriques).

★ Méthode : Construction géométrique

Pour déterminer graphiquement l'image $A'B'$ d'un objet AB perpendiculaire à l'axe optique (Δ) avec A sur (Δ) et B hors de (Δ), il faut tracer **3 rayons « outils »** issus de B :

- Le rayon incident issu de B et passant par O , il n'est pas dévié par la lentille.
- Le rayon incident issu de B et parallèle à l'axe optique, il émerge en passant par F' .
- Le rayon incident issu de B et passant par F , émerge parallèlement à l'axe optique.

B' est à l'intersection de ces trois rayons, et en exploitant la propriété d'aplanétisme, on en déduit que $A'B'$ est perpendiculaire à (Δ) donc A' qui est le projeté orthogonal de B' sur (Δ).



Remarque

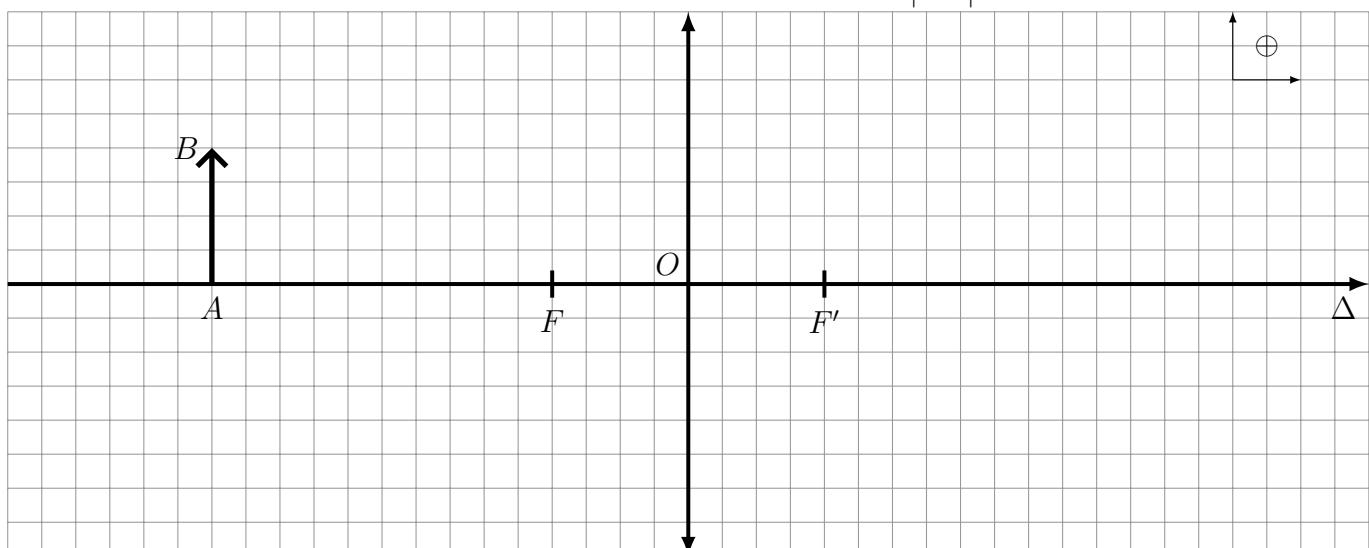
Les tracés seront très souvent effectués avec une échelle transversale plus grande que l'échelle longitudinale. Les rayons représentés ne seront pas « peu inclinés et peu éloignés de l'axe optique » mais les constructions respectent les règles définies dans les conditions de Gauss.



Exercice de cours (B)

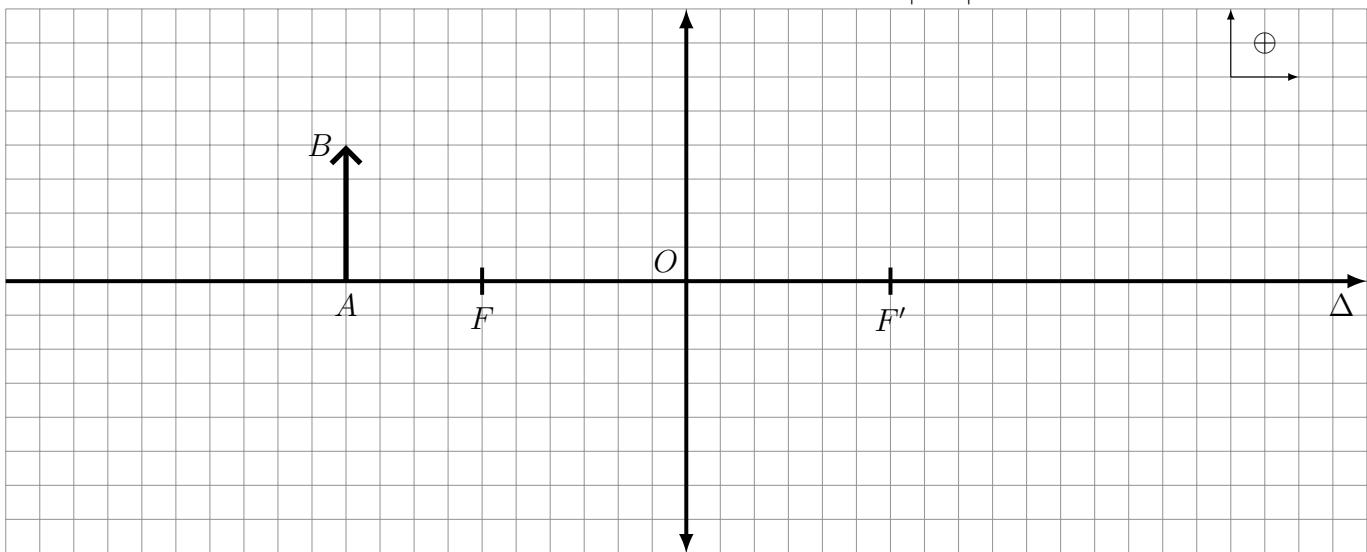
Réaliser les tracés ci-dessous et entourer les bonnes propositions :

Cas d'une lentille convergente avec un objet réel, tel que $|OA| > 2f'$:



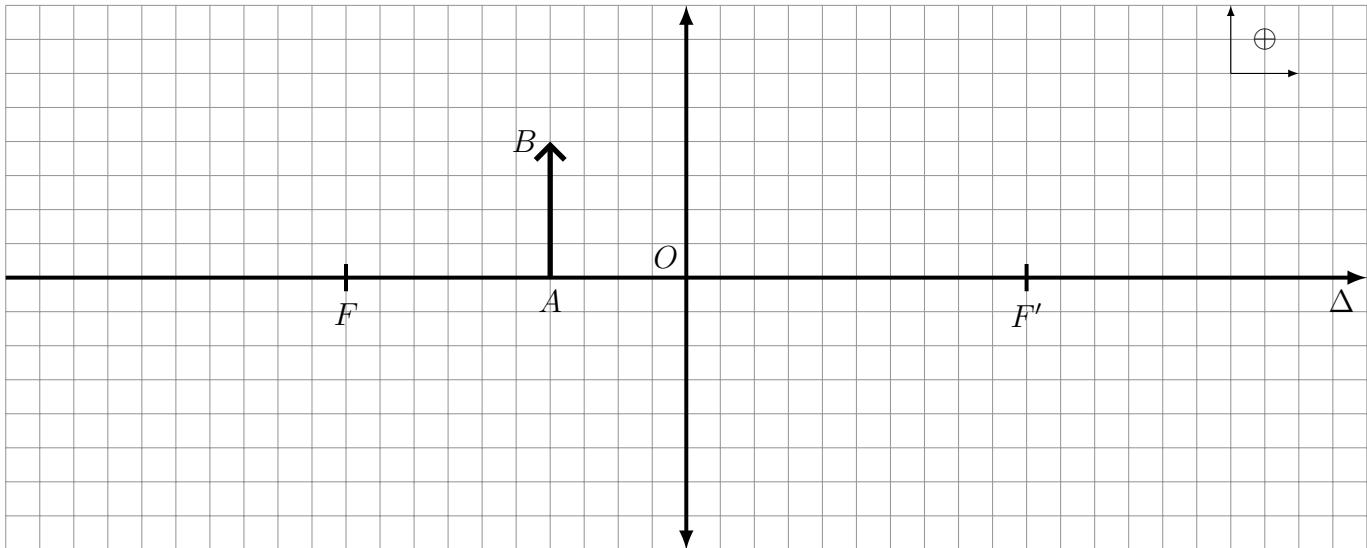
- nature de l'objet (réel/virtuel) et la nature de l'image (réelle/virtuelle)
- signes des grandeurs algébriques : $\overline{OA} < 0$, $\overline{OA'} < 0$, $\overline{AB} < 0$, $\overline{A'B'} > 0$
- image : agrandie / rétrécie / de même taille / $|\gamma| > 1$ / $|\gamma| < 1$ / $|\gamma| = 1$
- image droite (même sens que l'objet) / image renversée (sens opposé à l'objet) / $\gamma > 0$ / $\gamma < 0$

Cas d'une lentille convergente avec un objet réel, tel que $|\overline{OA}| < 2f'$:



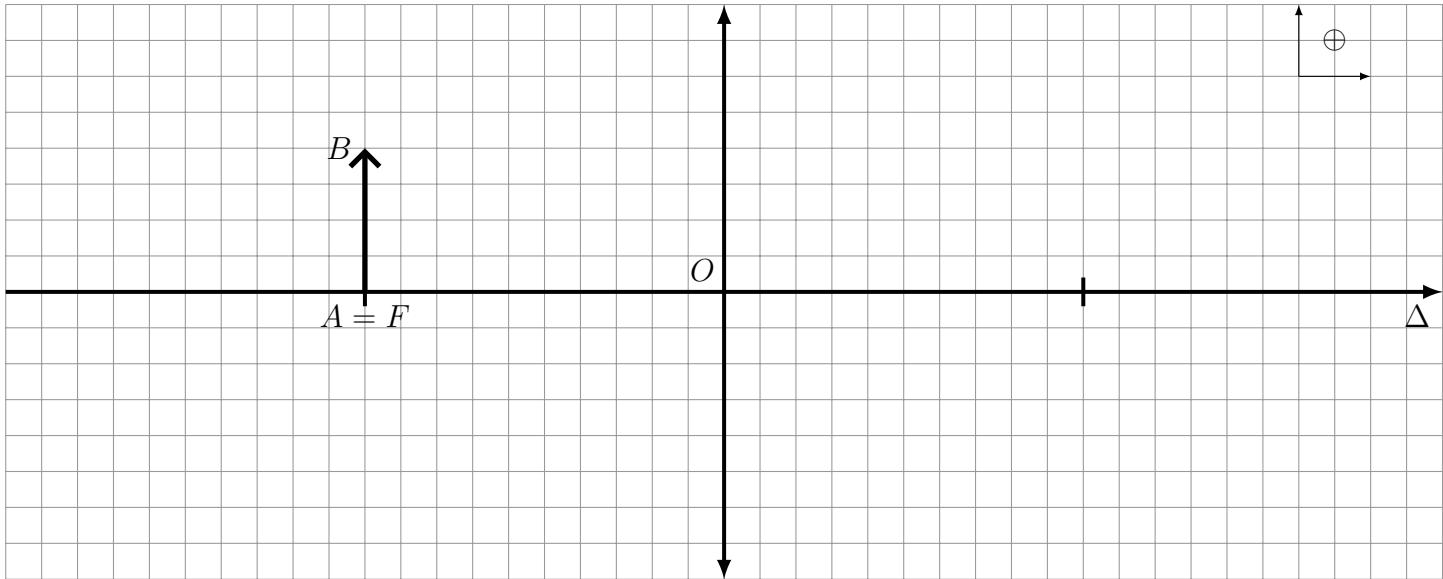
- nature de l'objet (réel/virtuel) et la nature de l'image (réelle/virtuelle)
- signes des grandeurs algébriques : $\overline{OA} < 0$, $\overline{OA'} < 0$, $\overline{AB} < 0$, $\overline{A'B'} < 0$
- image : agrandie / rétrécie / de même taille / $|\gamma| > 1$ / $|\gamma| < 1$ / $|\gamma| = 1$
- image droite (même sens que l'objet) / image renversée (sens opposé à l'objet) / $\gamma > 0$ / $\gamma < 0$

Cas d'une lentille convergente avec un objet réel, tel que $|\overline{OA}| < f'$:



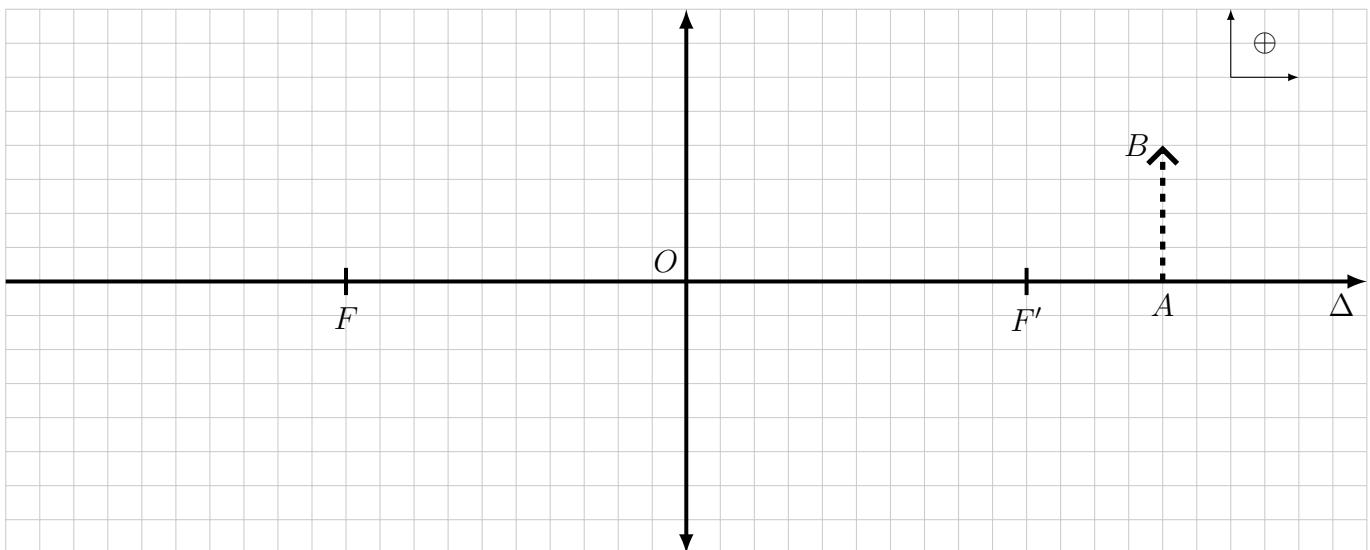
- nature de l'objet (réel/virtuel) et la nature de l'image (réelle/virtuelle)
- signes des grandeurs algébriques : $\overline{OA} < 0$, $\overline{OA'} < 0$, $\overline{AB} < 0$, $\overline{A'B'} < 0$
- image : agrandie / rétrécie / de même taille / $|\gamma| > 1$ / $|\gamma| < 1$ / $|\gamma| = 1$
- image droite (même sens que l'objet) / image renversée (sens opposé à l'objet) / $\gamma > 0$ / $\gamma < 0$

Cas d'une lentille convergente avec un objet réel dans le plan focal objet :



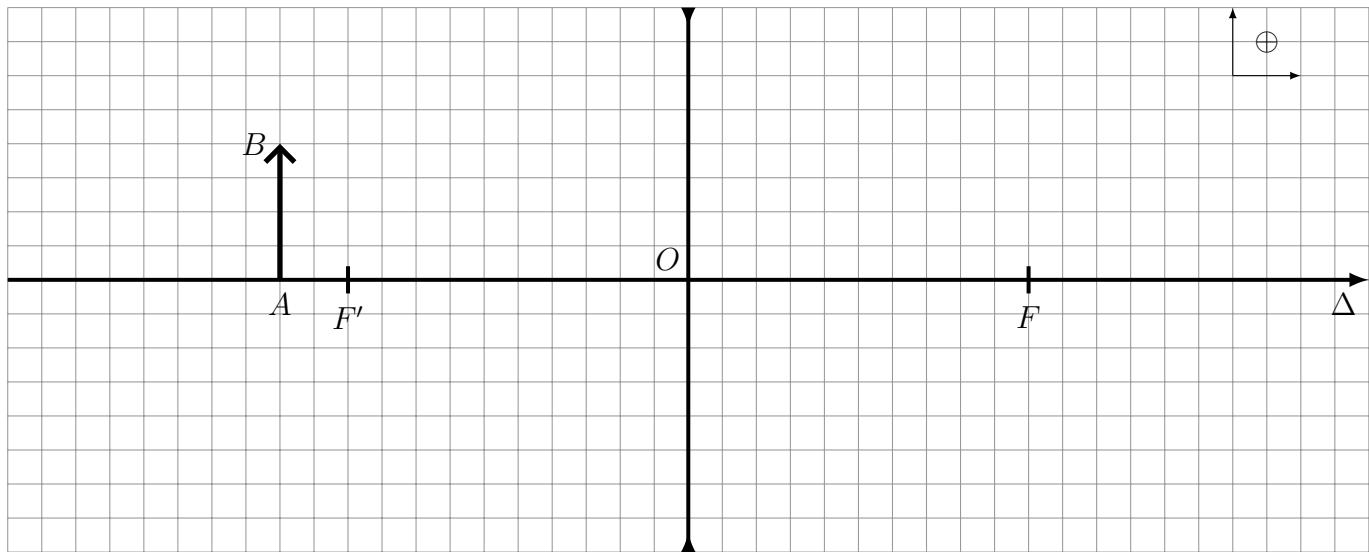
- nature de l'objet (réel/virtuel) et la nature de l'image (réelle/virtuelle)
- signes des grandeurs algébriques : $\overline{OA} < 0$, $\overline{OA'} > 0$, $\overline{AB} < 0$, $\overline{A'B'} > 0$
- image : agrandie / rétrécie / de même taille / $|\gamma| > 1$ / $|\gamma| < 1$ / $|\gamma| = 1$
- image droite (même sens que l'objet) / image renversée (sens opposé à l'objet) / $\gamma > 0$ / $\gamma < 0$

Cas d'une lentille convergente avec un objet virtuel :



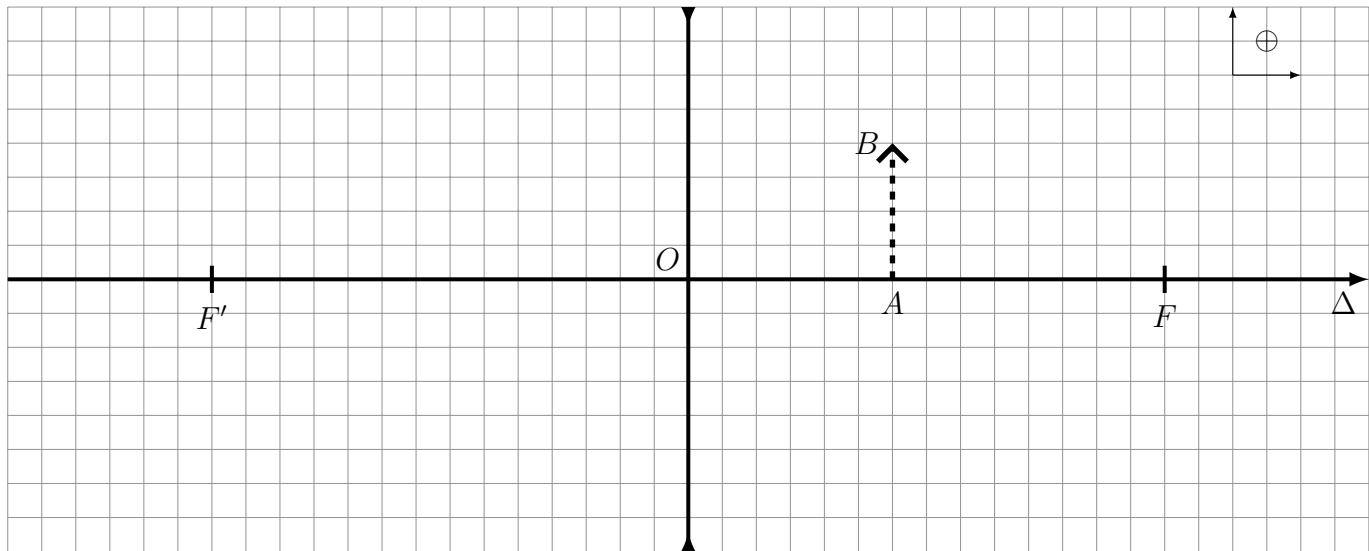
- nature de l'objet (réel/virtuel) et la nature de l'image (réelle/virtuelle)
- signes des grandeurs algébriques : $\overline{OA} < 0$, $\overline{OA'} < 0$, $\overline{AB} < 0$, $\overline{A'B'} > 0$
- image : agrandie / rétrécie / de même taille / $|\gamma| > 1$ / $|\gamma| < 1$ / $|\gamma| = 1$
- image droite (même sens que l'objet) / image renversée (sens opposé à l'objet) / $\gamma > 0$ / $\gamma < 0$

Cas d'une lentille divergente avec un objet réel :



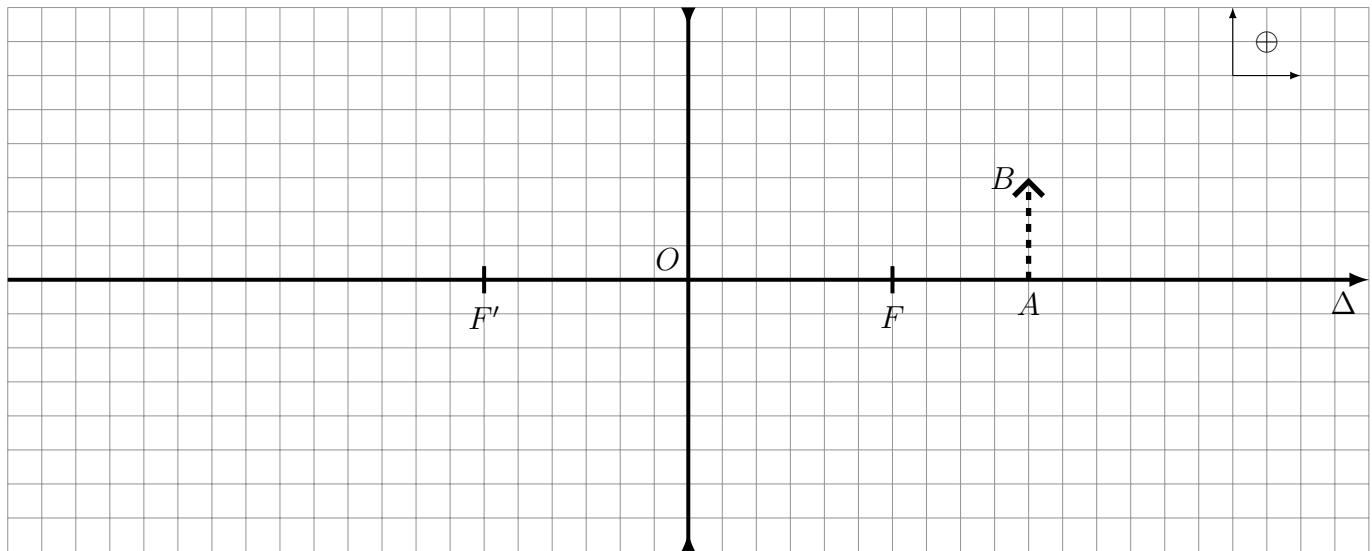
- nature de l'objet (réel/virtuel) et la nature de l'image (réelle/virtuelle)
- signes des grandeurs algébriques : $\overline{OA} > 0$, $\overline{OA'} > 0$, $\overline{AB} > 0$, $\overline{A'B'} > 0$
- image : agrandie / rétrécie / de même taille / $|\gamma| > 1$ / $|\gamma| < 1$ / $|\gamma| = 1$
- image droite (même sens que l'objet) / image renversée (sens opposé à l'objet) / $\gamma > 0$ / $\gamma < 0$

Cas d'une lentille divergente avec un objet virtuel tel que $|\overline{OA}| < |f'|$:



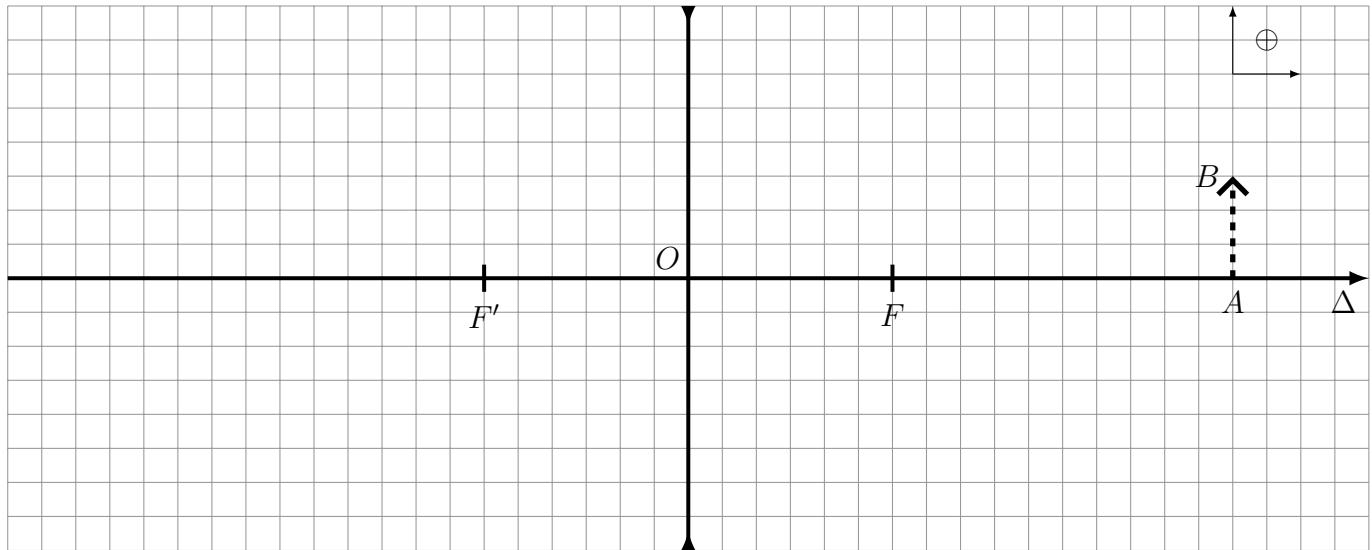
- nature de l'objet (réel/virtuel) et la nature de l'image (réelle/virtuelle)
- signes des grandeurs algébriques : $\overline{OA} < 0$, $\overline{OA'} < 0$, $\overline{AB} > 0$, $\overline{A'B'} < 0$
- image : agrandie / rétrécie / de même taille / $|\gamma| > 1$ / $|\gamma| < 1$ / $|\gamma| = 1$
- image droite (même sens que l'objet) / image renversée (sens opposé à l'objet) / $\gamma > 0$ / $\gamma < 0$

Cas d'une lentille divergente avec un objet virtuel tel que $|\overline{OA}| < |\overline{OA'}| < 2|\overline{f'}|$:



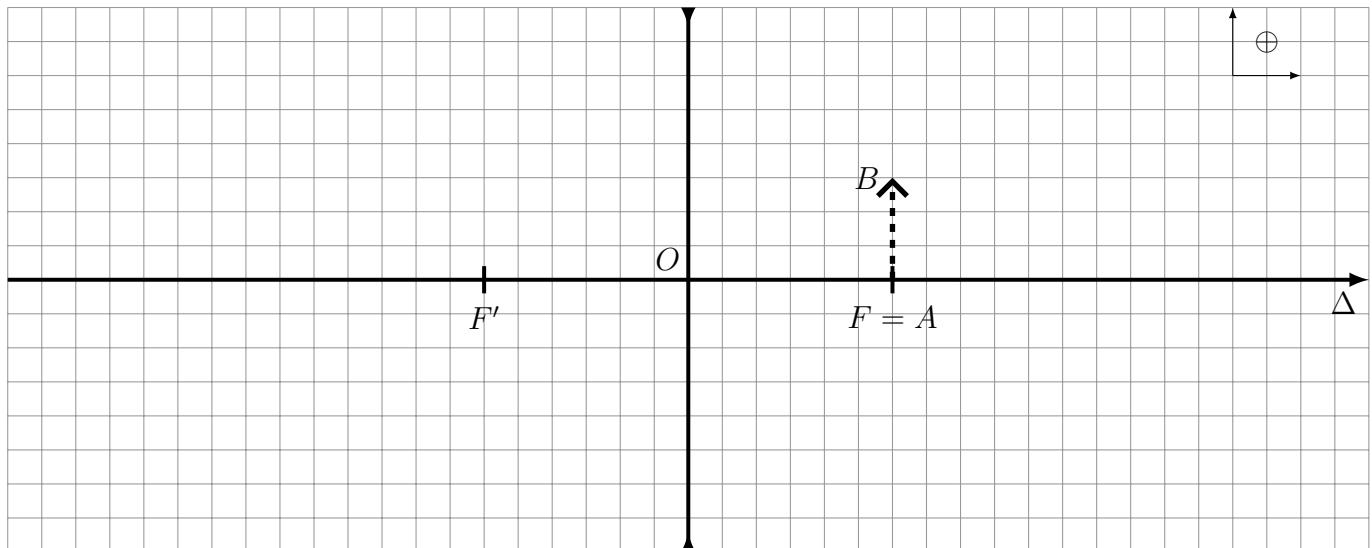
- nature de l'objet (réel/virtuel) et la nature de l'image (réelle/virtuelle)
- signes des grandeurs algébriques : $\overline{OA} < 0$, $\overline{OA'} < 0$, $\overline{AB} < 0$, $\overline{A'B'} < 0$
- image : agrandie / rétrécie / de même taille / $|\gamma| > 1$ / $|\gamma| < 1$ / $|\gamma| = 1$
- image droite (même sens que l'objet) / image renversée (sens opposé à l'objet) / $\gamma > 0$ / $\gamma < 0$

Cas d'une lentille divergente avec un objet virtuel tel que $|\overline{OA}| > 2|\overline{f'}|$:



- nature de l'objet (réel/virtuel) et la nature de l'image (réelle/virtuelle)
- signes des grandeurs algébriques : $\overline{OA} < 0$, $\overline{OA'} < 0$, $\overline{AB} < 0$, $\overline{A'B'} < 0$
- image : agrandie / rétrécie / de même taille / $|\gamma| > 1$ / $|\gamma| < 1$ / $|\gamma| = 1$
- image droite (même sens que l'objet) / image renversée (sens opposé à l'objet) / $\gamma > 0$ / $\gamma < 0$

Cas d'une lentille divergente avec un objet virtuel dans le plan focal objet :



- nature de l'objet (réel/virtuel) et la nature de l'image (réelle/virtuelle)
- signes des grandeurs algébriques : $\overline{OA} < 0$, $\overline{OA'} < 0$, $\overline{AB} < 0$, $\overline{A'B'} < 0$
- image : agrandie / rétrécie / de même taille / $|\gamma| > 1$ / $|\gamma| < 1$ / $|\gamma| = 1$
- image droite (même sens que l'objet) / image renversée (sens opposé à l'objet) / $\gamma > 0$ / $\gamma < 0$

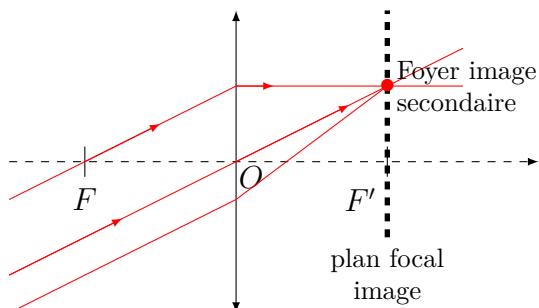
V.3 Foyers secondaires



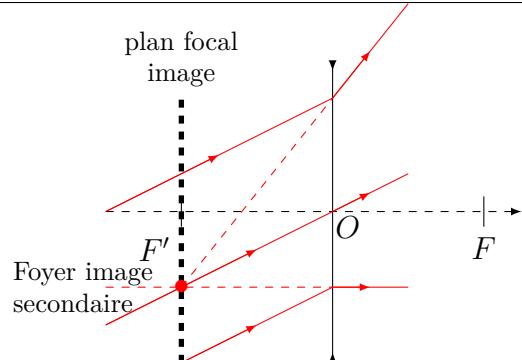
Foyers secondaires image

- Le **plan focal image** est le plan transverse (perpendiculaire à l'axe optique) passant par le foyer principal image F' .
- Les **foyers secondaires image** sont les points du plan focal image différents de F' .
- Un foyer secondaire image est un point image dont le point objet conjugué est situé à l'infini **hors de l'axe optique** : les rayons incidents sont parallèles entre eux et inclinés par rapport à l'axe optique.

Lentille convergente



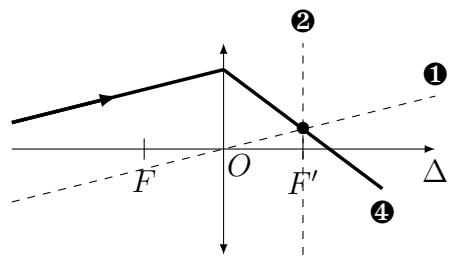
Lentille divergente



★ Méthode

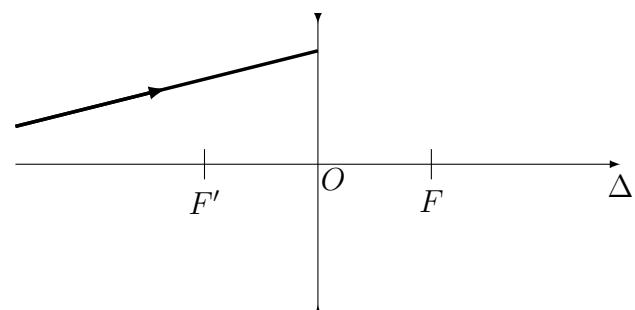
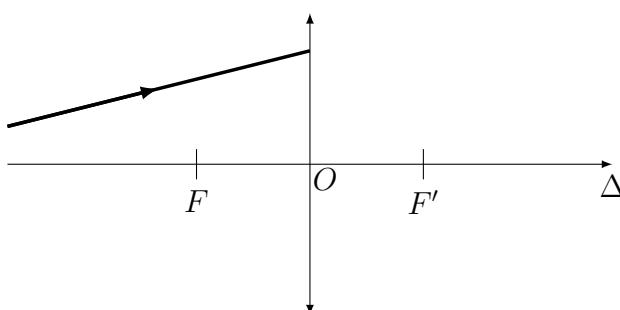
Tracé du rayon émergent lorsque l'incident est quelconque (= pas un rayon outil) :

- ❶ Tracer un rayon auxiliaire en pointillés, parallèle au rayon incident et passant par O , il n'est pas dévié.
- ❷ Tracer en pointillés le plan focal image (plan transverse passant par F').
- ❸ Repérer l'intersection entre le rayon auxiliaire et le plan focal image, ce point est un foyer image secondaire.
- ❹ Le rayon incident et le rayon auxiliaire étant parallèles entre eux, leurs émergents se croisent dans le plan focal image, au foyer image secondaire repéré précédemment.
Il reste à tracer le rayon émergent issu du rayon incident passant par ce point.



💣 Exercice de cours ⑩

Tracer les rayons émergents correspondant aux rayons incidents donnés :



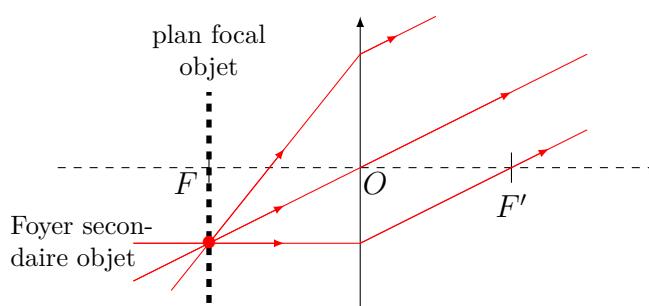
❤️ Foyers secondaires objet

On appelle **plan focal objet** le plan transverse (perpendiculaire à l'axe optique) passant par le foyer principal objet F .

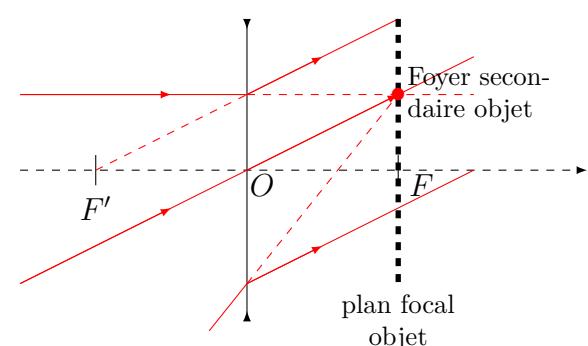
Les **foyers secondaires objet**, sont les points du plan focal objet différents de F .

L'image d'un foyer secondaire objet est située à l'infini hors de l'axe optique : les rayons émergents sont parallèles entre eux et inclinés par rapport à l'axe optique.

Lentille convergente



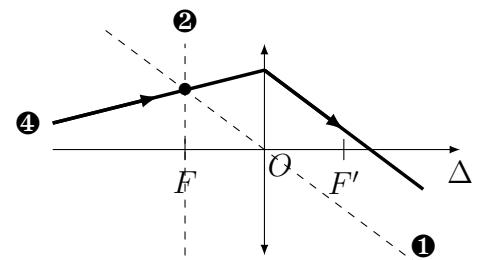
Lentille divergente



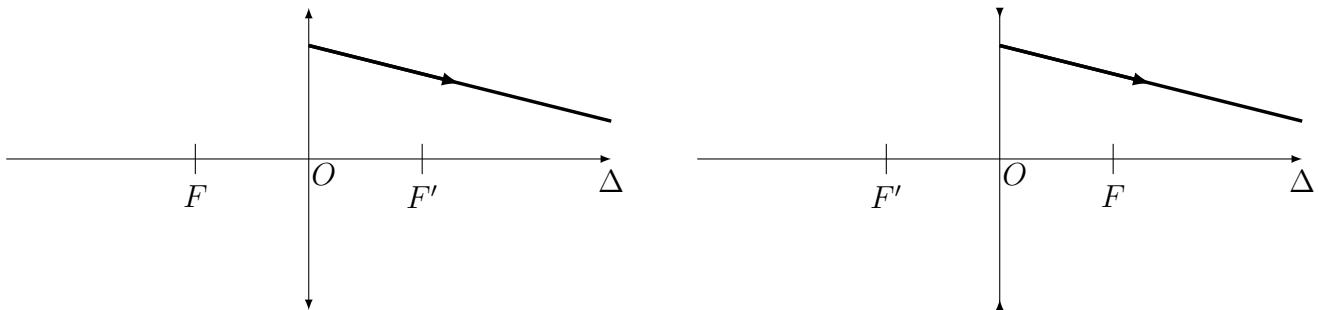
★ Méthode

Tracé du rayon incident lorsque l'émergent est quelconque (= pas un rayon outil) :

- ❶ Tracer un rayon auxiliaire en pointillés, parallèle au rayon émergent inconnu et passant par O , il n'est pas dévié.
- ❷ Tracer en pointillés le plan focal objet (plan transverse passant par F).
- ❸ Repérer l'intersection entre le rayon auxiliaire et le plan focal objet, ce point est un foyer objet secondaire.
- ❹ Le rayon émergent inconnu et le rayon auxiliaire émergent de la lentille parallèlement, donc ils proviennent d'un même plan focal objet : le foyer secondaire objet.
Il reste à tracer le rayon incident passant par ce point, et qui rejoint le rayon émergent sur la lentille.



💣 Exercice de cours ⑩ Tracer les rayons incidents correspondant aux émergents donnés :



V.4 Relations de conjugaison et formule du grandissement

❤ Formules

Pour un objet AB transverse, avec A situé sur l'axe optique, conjugué avec l'image $A'B'$ par une lentille mince \mathcal{L} de centre optique O , de foyer principal objet F , de foyer principal image F' et de distance focale f' (noté $A \xrightarrow{\mathcal{L}} A'$), on a les relations suivantes :

	Relation de conjugaison	Formule du grandissement
avec origine au centre (Descartes)	$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$	$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$
avec origine aux foyers (Newton)	$\overline{F'A'} \times \overline{FA} = -f'^2$	$\gamma = \frac{\overline{F'A'}}{-f'} = \frac{f'}{\overline{FA}}$

💡 Remarques

- Toutes les grandeurs qui interviennent dans les relations (conjugaison ou grandissement) sont **algébriques**.
- Dans les exercices, on choisit entre les formules de Descartes et de Newton, en fonction des données de l'énoncé ou du résultat cherché :
 - données par rapport au centre \Rightarrow Descartes
 - données par rapport aux foyers \Rightarrow Newton

Démonstration

Établir la formule du grandissement et la relation de conjugaison aux foyers par un raisonnement graphique.

Exercice de cours (E)

- Q1. Un objet AB de 0,5 cm est placé 30 cm devant une lentille convergente de distance focale 20 cm, perpendiculairement à son axe. Déterminer son image par le calcul (position, la nature et taille).
- Q2. Un objet virtuel est placé à 2 cm d'une lentille divergente de distance focale -3 cm. Déterminer la position de l'image et le grandissement transversal.

V.5 Projection sur un écran avec une lentille convergente

❤ Propriété

Pour obtenir d'un objet AB réel une image sur un écran (donc réelle), il faut utiliser une lentille convergente de distance focale f' , et la distance D entre l'objet et l'écran doit vérifier :

$$D \geq 4f'$$

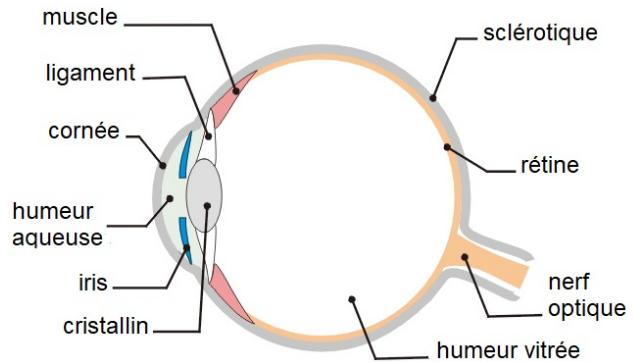
❶ Démonstration

- En partant de la relation de conjugaison de Descartes, établir une équation du deuxième degré vérifiée par \overline{OA} , équation qui dépendra de D et f' .
- Donner puis exploiter la condition pour que cette équation possède au moins une racine réelle.

VI Modèles de dispositifs optiques

VI.1 L'œil

L'œil possède une forme environ sphérique de rayon environ 22 mm.

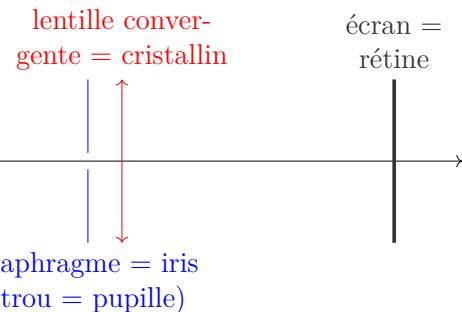


Éléments principaux de l'œil :

- L'iris (partie colorée) est percé de la **pupille** dont le diamètre est variable (entre 2 mm et 8 mm) et qui joue le rôle de **diaphragme** en limitant l'intensité lumineuse pénétrant dans l'œil (la taille de la pupille s'adapte à la luminosité de l'objet observé).
- Le **cristallin** est assimilable, avec la cornée, à une **lentille mince** biconvexe dont la distance focale est variable selon sa contraction (la vergence de l'ensemble {cornée + cristallin} est de l'ordre de $+60 \delta$). Il donne d'un objet une image renversée sur la rétine.
- La **répine** est constituée de cellules sensibles à la lumière (les cônes et les bâtonnets). Elle joue le rôle d'un **écran**, dont la position par rapport au cristallin est fixe (environ 17 mm).
- L'humour vitreux est une substance gélantineuse d'indice de réfraction 1,336.
- L'ensemble {répine-nerf optique} code l'image sous la forme d'influx nerveux et l'envoie au cerveau par l'intermédiaire du nerf optique. Le cerveau interprète le message (retournement de l'image, correction de la distorsion, vision relief).

Modèle

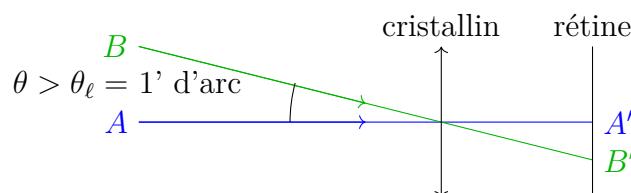
Modélisation optique de l'œil :



La rétine est pavée de nombreuses cellules réceptrices (les cônes et les bâtonnets). Lorsque deux points lumineux A et B donnent lieu à deux images ponctuelles A' et B' reçues par la même cellule, ces images sont perçues comme une image unique. A et B sont donc vus distinctement si A' et B' , sont sur deux cellules de la rétine différentes.

Définition

Limite de résolution angulaire (ou pouvoir séparateur) de l'œil : c'est l'angle minimum sous lequel l'œil peut distinguer deux points. Dans de bonnes conditions d'éclairage, l'œil distingue des détails écartés d'environ 1 minute d'arc, soit 3×10^{-4} rad.



Phénomène d'accommodation :

- L'œil ne peut voir un objet net que si son image se forme sur la rétine.
- Le point le plus éloigné perçu net par un **œil au repos**, est appelé **punctum remotum (PR)**. Un œil emmétrope (« normal ») voit net sans accommoder à l'infini, son PR se trouve donc à l'infini.
- Pour voir des objets plus proches, l'œil doit **accommoder** : le cristallin se bombe, grâce aux muscles ciliaires, afin de diminuer sa distance focale (il augmente sa vergence).
- Le point le plus proche que l'œil peut voir net est le **punctum proximum (PP)**. Le PP correspond à la distance minimale de vision distincte. Il vaut en moyenne 25 cm pour un œil emmétrope.



Définition

Plage d'accommodation : c'est la distance entre le **punctum proximum (PP)** et le **punctum remotum (PR)**.

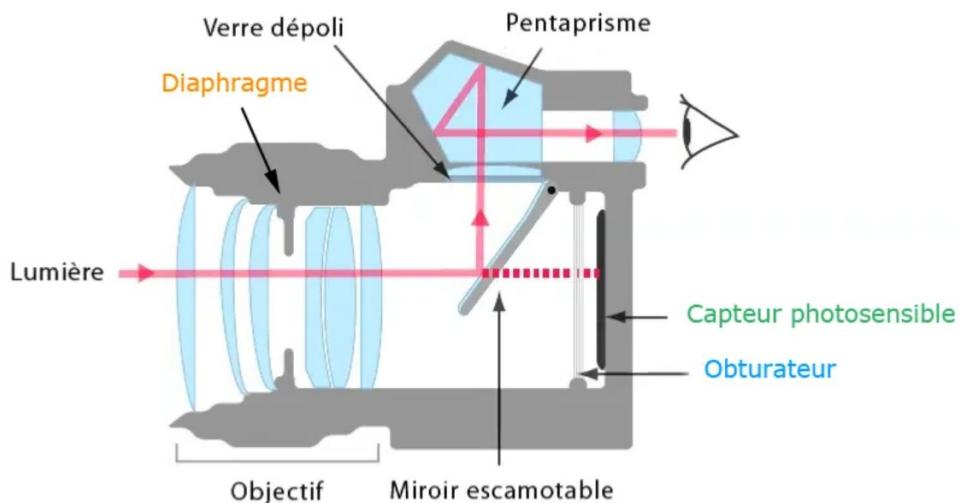


Exercice de cours (F)

- Q1. Faire un schéma rendant compte de la vision d'un objet situé au PR d'un œil emmétrope.
- Q2. Pour qu'un objet soit vu net, où doit se former son image donnée par le cristallin ? Dans l'œil, qu'est ce qui ne varie pas ? Qu'est ce qui varie pour permettre la vision nette ?
- Q3. Faire un schéma rendant compte de la vision d'un objet situé entre le PR et le PP. Comment évolue la distance focale du cristallin ?

VI.2 L'appareil photo

a) Modélisation



Éléments principaux de l'appareil photo :

- Un **objectif** pouvant être constitué d'une seule lentille (appareils bons marchés) convergente donne d'un objet une image réelle renversée dans le plan du capteur. La plupart des objectifs sont constitués par des associations de lentilles différentes taillées dans des verres d'une grande homogénéité et d'indices bien déterminés. Cette association permet de corriger les aberrations chromatiques (absence d'irisation des images) et géométriques (absence de déformations). Pour les objectifs les plus élaborés, il peut y avoir jusqu'à 10 ou 15 lentilles.
- Un **diaphragme** qui règle l'ouverture du faisceau lumineux et la quantité de lumière entrant dans l'appareil. Ce diaphragme permet à la lentille objectif de se trouver dans les conditions de Gauss et d'assurer que l'image d'un objet soit relativement nette.
- Un **obturateur** situé derrière l'objectif qui permet de choisir la durée d'exposition de l'image sur le récepteur. Il règle la quantité de lumière qui impressionnera le capteur. Son ouverture est provoquée par le déclencheur. Le diaphragme (par son diamètre d'ouverture) et l'obturateur (par sa durée d'ouverture) permettent de faire entrer plus ou moins de lumière dans le boîtier.
- Un **capteur photosensible** constitué d'une matrice de cellules ou pixels (picture element). La quantité de lumière totale admise dans l'appareil est fonction de la luminosité ambiante, de l'ouverture du diaphragme et de la durée d'exposition.

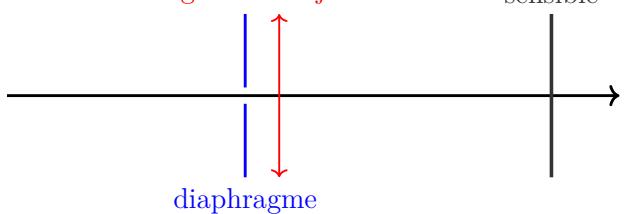
Modèle

Modélisation de l'appareil photographique à focale fixe :

- une lentille convergente **unique** modélisant l'objectif de distance focale f'
- un diaphragme de diamètre D permettant de contrôler le flux de lumière
- un capteur photosensible (capteur CCD ou pellicule)

lentille convergente = objectif

écran =
capteur
photo-
sensible



b) Mise au point



Définition

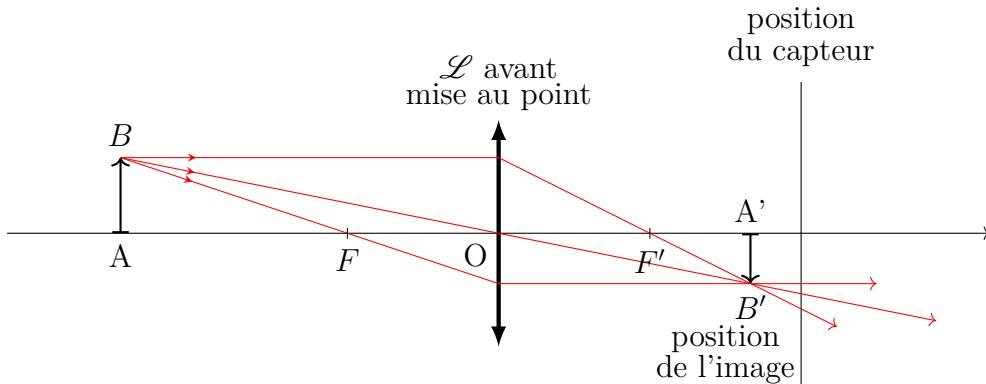
Faire la mise au point : faire en sorte que l'image de l'objet photographié se forme sur le capteur.

Techniquement, lors de la mise au point, c'est l'objectif qui se déplace jusqu'à ce que l'image se forme sur le capteur. La distance focale de l'objectif, la distance objectif - objet et la distance objectif - capteur respectent alors la relation de conjugaison des lentilles convergentes.



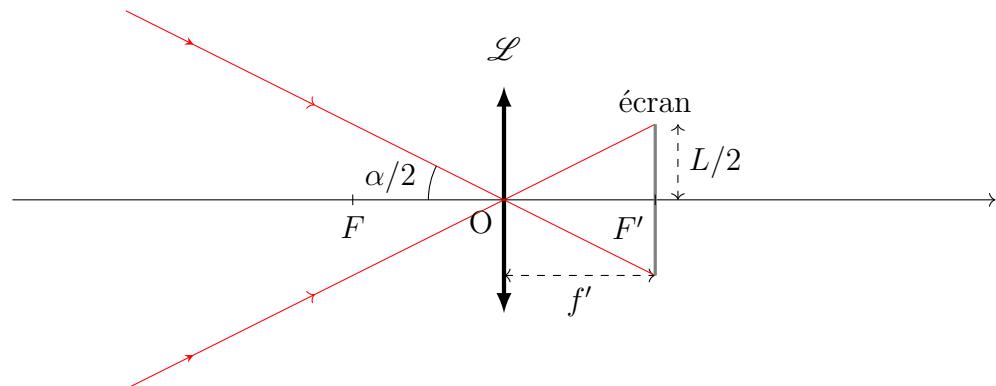
Exercice de cours ⑥

Déterminer la position de la lentille après mise au point.



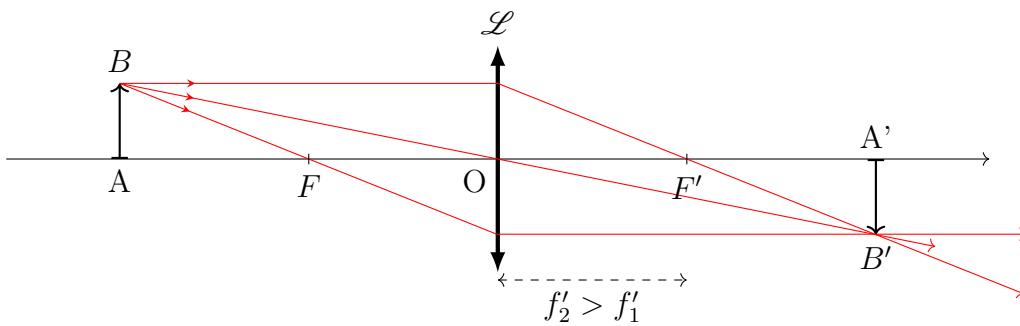
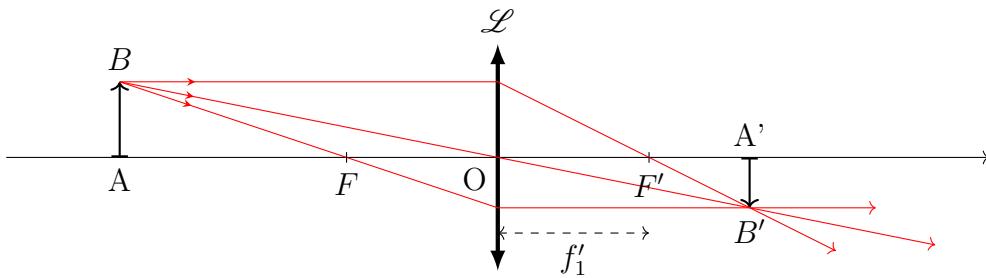
c) Influence de la distance focale

- **Pour une mise au point à l'infini :** l'image se forme dans le plan focal image de l'objectif, c'est donc là que se trouve le capteur. Les rayons « extrêmes » qui forment une image sur le capteur de hauteur L sont tels que :

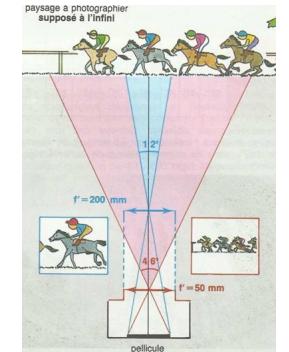


Le champ angulaire α est donc tel que $\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{L/2}{f'}$, donc plus la distance focale est élevée, plus le champ angulaire α est faible.

- Pour une distance objet-objectif donnée : plus la distance focale de l'objectif est grande, plus l'image est grande donc plus le zoom est important :



Bilan : Plus la distance focale est élevée, plus le zoom est important et plus le champ angulaire est faible.



d) Influence du diaphragme d'ouverture

♥ Définitions

Ouverture D : L'ouverture de l'appareil photographique est le diamètre, noté D , du diaphragme placé devant l'objectif. C'est donc le diamètre du faisceau de lumière qui pénètre dans l'appareil.

Nombre d'ouverture N : c'est un nombre sans dimension défini par $N = \frac{f'}{D}$
 avec : f' = distance focale de la lentille objectif, en m
 D = diamètre du diaphragme, en m

• Exposition :

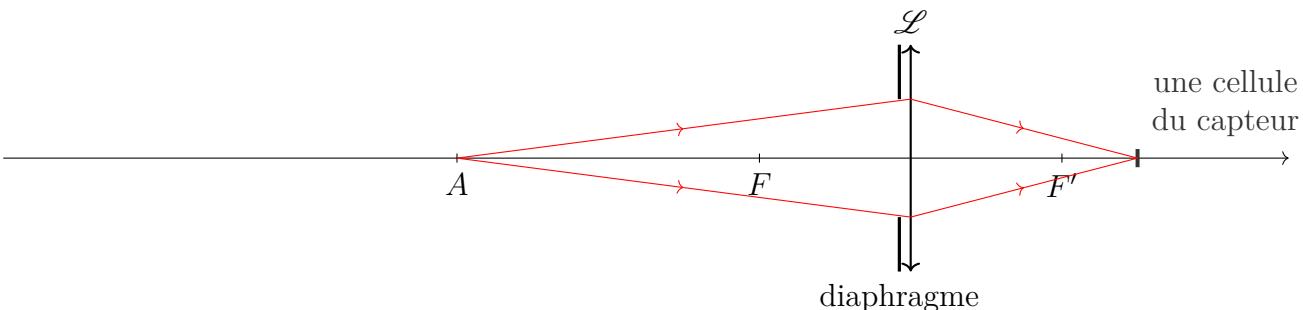
La quantité de lumière qui pénètre dans l'appareil photo est proportionnelle à la surface de l'ouverture donc à D^2 , ainsi qu'à la durée d'exposition (ou temps de pause) τ . Le produit τD^2 doit donc être constant. Une augmentation du nombre d'ouverture N de l'objectif entraîne une baisse de la luminosité de la photographie.

• Profondeur de champ :

Pour une distance lentille-écran donnée, il existe une unique distance lentille-objet permettant de respecter exactement la relation de conjugaison, donc une mise au point exacte. En dehors de cette position, l'image d'un point n'est pas un point mais une tache. Si la tache est suffisamment petite pour n'éclairer qu'un seul des photorécepteurs du capteur, alors la photographie paraît aussi nette que si la relation de conjugaison est respectée. On appelle ce critère la condition de netteté approchée.

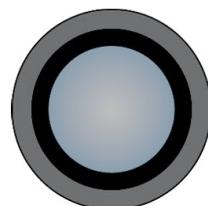
**Exercice de cours (H)**

Déterminer graphiquement la profondeur de champ dans la situation ci-dessous :



Quel est l'effet d'une diminution de l'ouverture D ?

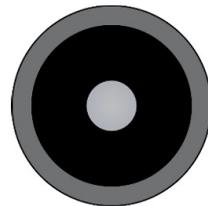
Bilan : les deux conséquences d'une augmentation du nombre d'ouverture (sans changement des autres paramètres) sont une augmentation de la luminosité et une diminution de la profondeur de champ :



grande ouverture D
(faible N)



photo lumineuse et faible profondeur de champ



faible ouverture D
(grand N)



photo moins lumineuse et grande profondeur de champ