

Chapitre O2 : Propagation de la lumière à travers des systèmes optiques élémentaires, formation des images

Plan du cours

I. Compléments de vocabulaire et de notions de base sur l'optique géométrique	2
I. 1 - Compléments sur les rayons lumineux	2
I. 2 - Système optique	3
I. 3 - Objet	4
I. 4 - Image	5
I. 5 - Stigmatisme	7
I. 6 - Aplanétisme	8
I. 7 - Conditions de Gauss	8
II. Du tracé des rayons lumineux à la formation des images dans les systèmes optiques élémentaires	9
II. 1 - Miroir plan	9
II. 2 - Qu'est ce qu'une lentille mince ?	10
II. 3 - Points particuliers d'une lentille mince	10
II. 4 - Construction géométriques à travers des lentilles minces	12
II. 5 - Relations de conjugaison et de grandissement transversal des lentilles	15
II. 6 - Former une image réelle avec une lentille mince convergente	16

Introduction

L'optique s'est énormément développée pour l'astronomie. L'astronomie, dont les premières découvertes se font à l'œil nu, a évolué et progressé à partir de la Renaissance (ex : lunette de GALILÉE en 1609) grâce au progrès de l'optique et au développement d'instrument puissants (ce que nous verrons dans le chapitre O3). Pour cela, il est nécessaire de former une image « grossie » (plus grande et/ou plus proche) d'un objet lumineux au moyen de réflexions/réfractions des rayons lumineux lorsqu'ils traversent les différents éléments d'un système optique centré.

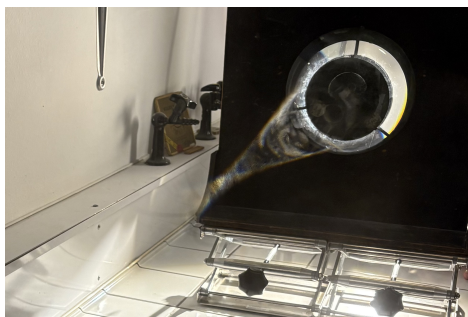


FIGURE 1 – Photographie de rayons lumineux traversant les bordures extérieures d'une lentille-boule (ENS-Montrouge)



Problématique :

Quelles sont les principales parties d'un système optique ? Comment la lumière se propage-t-elle lorsqu'elle rencontre un miroir plan ou une lentille ?

I. Compléments de vocabulaire et de notions de base sur l'optique géométrique

I. 1 - Compléments sur les rayons lumineux

▷ Dans le chapitre O1, nous avons étudié en profondeur la réflexion et la réfraction de rayons lumineux au niveau d'interfaces entre deux milieux d'indices optiques différents. Nous allons dès-à-présent compléter la description des rayons lumineux, et nous intéresser à la perception que nous en avons.



Propriété n°1 : Indépendance des rayons lumineux

▷ Les rayons lumineux se croisent sans interagir les uns avec les autres.

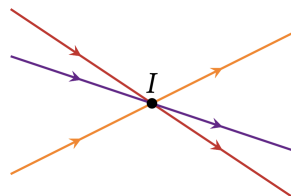


FIGURE 2 – Croisement de rayons lumineux en un point I



Propriété n°2 : 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.

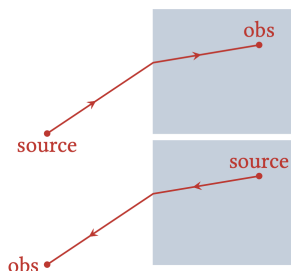


FIGURE 3 – Retour inverse de la lumière



Remarque

▷ Les interférences lumineuses contredisent le postulat d'indépendance des rayons lumineux. On rappelle que le modèle de l'optique géométrique est valable lorsqu'il n'y a pas d'interférences.

▷ On peut également se demander par quel moyen nous pouvons observer un rayon lumineux lorsqu'ils ne pénètrent pas directement nos yeux. Cette vidéo YouTube <https://youtube.com/shorts/ShNZuWpgufQ?si=3VZPmfqXswX5UXCt> répond à cette question.



FIGURE 4 – Goutellettes d'eau d'un brumisateurs (à gauche) et farine (à droite) sur le passage d'un rayon LASER

▷ On comprend alors que l'œil ne voit pas directement les rayons lumineux : pour savoir qu'il y a de la lumière à un endroit, elle doit être déviée par un objet réfléchissant ou diffusant et aboutisse à l'œil de l'observateur.

Enfin, il faut savoir que le **cerveau** analyse tout, et parfois à tort, d'où le phénomène d'illusion d'optique. **Le cerveau interprète toujours le trajet de la lumière comme si elle venait en ligne droite (même si elle ne vient pas de la position réelle de l'objet).** ♥



Application n°1 : Mirage sur une route de montagne

▷ Lors d'une chaude journée d'été, un randonneur observe ce curieux phénomène sur une route qui est par ailleurs totalement sèche :



Expliquer ce phénomène sachant que l'air chaud possède un indice de réfraction plus faible que l'air frais.

▷ On se rend alors compte qu'il est nécessaire de définir avec rigueur ce qu'est un système optique, un objet et une image en optique géométrique.

I. 2 - Système optique



Définition n°1 : Système optique

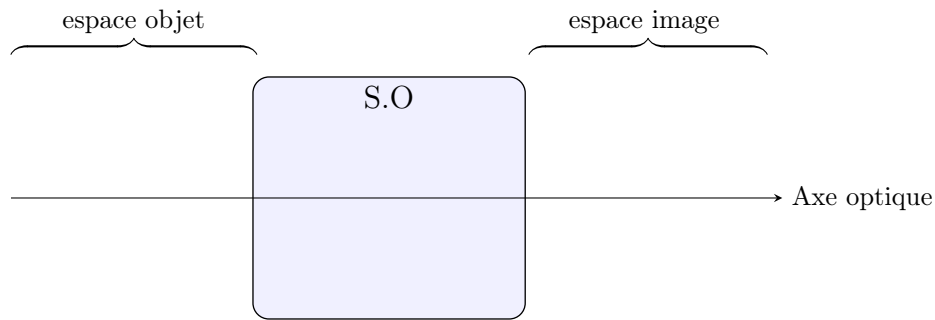
▷ Un système optique (S.O) est un ensemble de dioptries (surface séparant 2 milieux d'indices différents n_1 et n_2 . Il sera ici soit plan, soit sphérique) et de miroirs créant une **image** à partir d'un système de points lumineux appelé **objet**.



Propriété n°3 : Généralités sur les systèmes optiques

- Si le système optique n'est constitué que de dioptries, on parle de **système dioptrique**.
- S'il est constitué de dioptries et de miroirs, on parle de **système catadioptrique**.
- Un système optique est dit **centré** s'il possède un axe de symétrie de révolution appelé **axe optique**.
- Un rayon lumineux (RL) suivant l'axe optique n'est **pas dévié** par le système optique.
- On oriente l'axe optique dans le sens de propagation de la lumière (noté $(+) \rightarrow$).
- L'**espace objet** est la région de l'espace d'où **proviennent** les rayons lumineux incidents qui arrivent sur le système optique.
- L'**espace image** est la région de l'espace dans laquelle se **propagent** les rayons lumineux émergents du système optique.

▷ On représente généralement un système optique par une zone rectangulaire ou entre deux grandes parenthèses, car on ne veut pas "perdre de temps" à détailler tout ce qu'il contient lorsque l'on s'intéresse uniquement à l'objet d'entrée et à l'image en sortie.



I. 3 - Objet



Définition n°2 : Point objet

▷ Un point objet correspond à l'intersection de plusieurs rayons lumineux incidents (= entrant dans le système optique) ou de leurs prolongements (en pointillés - - - - -).



Remarque

- ▷ On distingue les objets **primaires** des objets **secondaires**.
- Un objet primaire **émet spontanément** de la lumière (ex : une étoile, une lampe...).
 - Un objet secondaire est lui-même éclairé et renvoie la lumière (ex : la Lune, le ciel, du papier...).



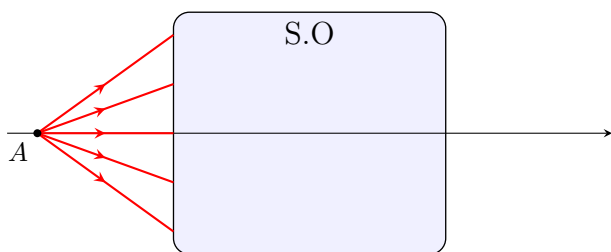
Définition n°3 : Objet ponctuel VS objet étendu

- ▷ En optique, on distingue un **objet ponctuel** d'un **objet étendu**.
- Un objet est ponctuel s'il est petit par rapport à la distance d'observation. Il est représenté par un point (souvent noté A).
 - Un objet est étendu si ses dimensions ne sont pas négligeables devant la distance d'observation. On le traite alors comme un ensemble d'objets ponctuels. Il est représenté par les deux points constituant ses extrémités (souvent notés A et B).

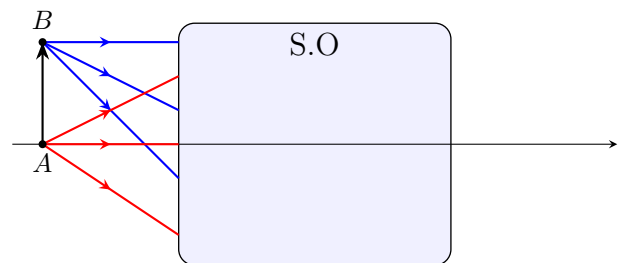


Propriété n°4 : Objet à distance finie du système optique

▷ Pour un objet ponctuel ou étendu à distance finie, les rayons incidents **ne sont pas parallèles entre eux**.



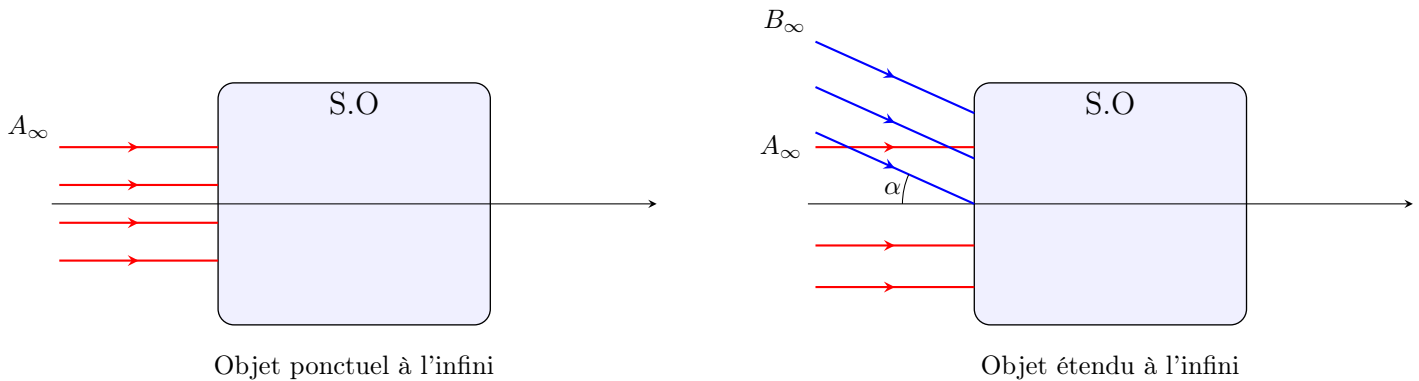
Objet ponctuel à distance finie



Objet étendu à distance finie

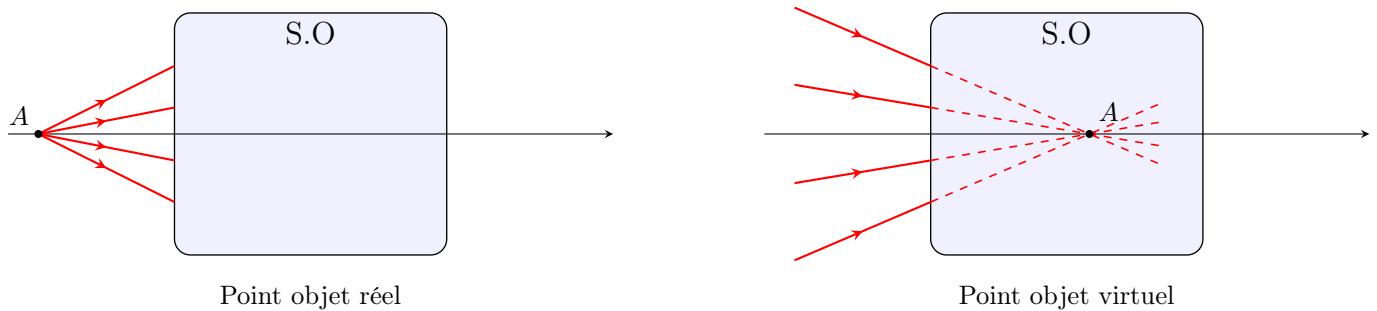
♥ Propriété n°5 : Objet à l'infini

- ▷ Pour une distance considérable devant les dimensions du système optique (typiquement un facteur 100), on peut considérer que l'objet est à l'infini.
- La lumière issue d'un objet ponctuel à l'infini entre dans le système sous la forme d'un faisceau de rayons parallèles.
 - La lumière issue d'un objet étendu à l'infini entre dans le système sous la forme de faisceaux de rayons parallèles par point, mais avec des directions différentes selon le point considéré.



♥ Définition n°4 : Objet réel VS objet virtuel

- ▷ Un point objet (ou objet ponctuel) A est dit :
- **réel** s'il est dans l'espace objet (si l'intersection des rayons incidents passant par A ou de leurs prolongements se trouve dans l'espace objet) ;
 - **virtuel** s'il n'est pas dans l'espace objet (si l'intersection des rayons incidents passant par A ou de leurs prolongements se trouve dans l'espace image ou à l'intérieur du système optique).



📎 Remarques

- Un objet virtuel n'est pas un objet physique : on ne peut pas le toucher.
- Toute source lumineuse est un objet réel.
- Cela marche aussi avec un objet étendu.

I. 4 - Image

♥ Définition n°5 : Point image

- ▷ Un point image correspond à l'intersection de plusieurs rayons lumineux émergents (= sortant du système optique, ou de leurs prolongements (en pointillés - - - -)).

♥ Définition n°6 : Image ponctuelle VS image étendue

▷ Une image est dite **ponctuelle** si sa dimension est **inférieure au pouvoir de résolution du récepteur** (taille du plus petit élément du récepteur), par exemple un pixel sur une caméra ou une cellule photoréceptrice de la rétine. Sinon, elle est dite **étendue**.

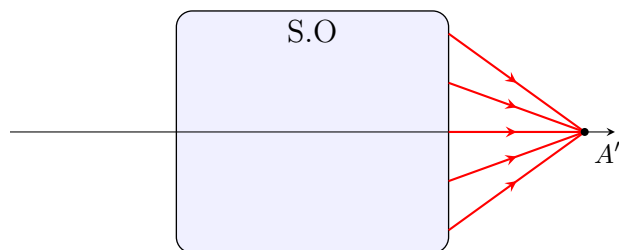


Image ponctuelle à distance finie

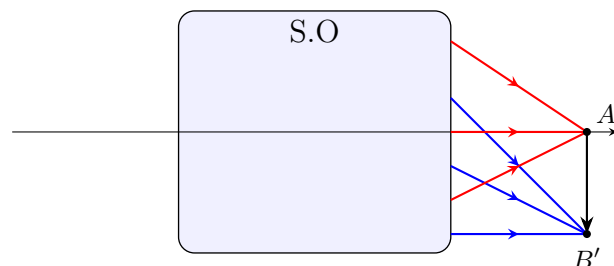


Image étendue à distance finie

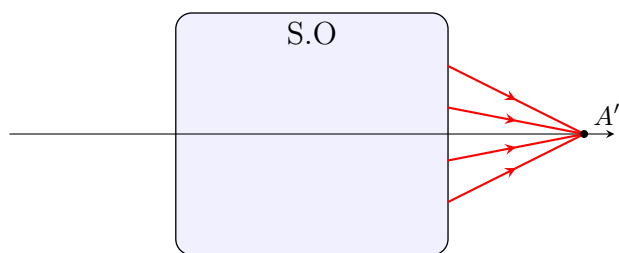
! Attention !

Les adjectifs "ponctuel(le)" ou "étendu(e)" ne renvoient pas aux mêmes définitions pour un objet ou une image. En fait, un point image peut être étendue si la tache qu'il occupe est "suffisamment grosse" tout comme une image $A'B'$ peut être ponctuelle si l'espace qu'elle occupe est "suffisamment petite". Nous reviendrons plus en détail sur cet aspect lorsque nous traiterons du stigmatisme dans la sous-partie suivante.

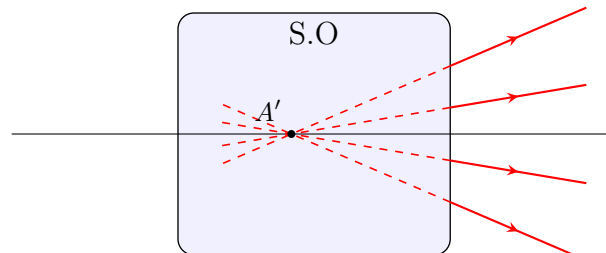
♥ Définition n°7 : Image réelle VS image virtuelle

▷ Un point image A' est dit :

- **réel** s'il est dans l'espace image (si l'intersection des rayons émergents passant par A ou de leurs prolongements se trouve dans l'**espace image**).
- **virtuelle** s'il n'est pas dans l'espace image (si l'intersection des rayons émergents passant par A ou de leurs prolongements se trouve dans l'**espace objet** ou à l'**intérieur du système optique**).



Point image réel



Point image virtuel

📎 Remarques

- Un point image ne peut être vu sur un écran **que s'il est réel**.
- Un point image virtuel ne peut donc pas être vu sur un écran. En revanche, on peut le voir (avec ses yeux), car il devient alors un point objet pour l'œil qui en forme une image réelle sur sa rétine (effet loupe, voir chapitre O3).
- Cela marche aussi avec des images étendues.

I. 5 - Stigmatisme

**Définition n°8 : Stigmatisme rigoureux**

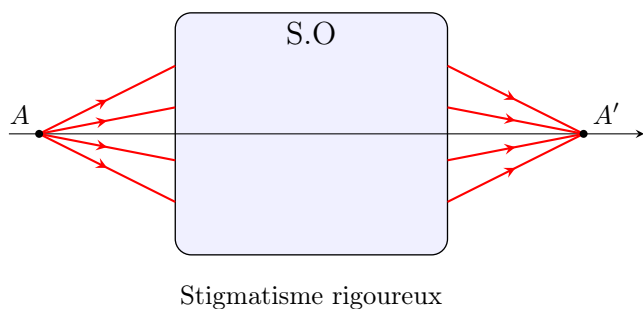
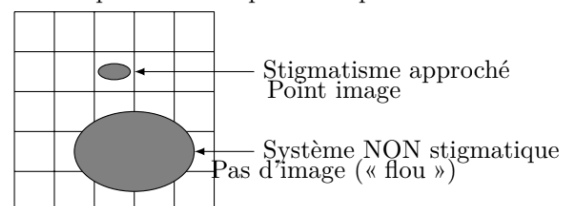
Un système optique S.O est dit **rigoureusement stigmatique** si l'image qu'il forme de tout point objet A est **exactement** un point image A' , par opposition à une tache diffuse. On dit alors que A et A' sont **conjugués** par S.O et on note :

$$A \xrightarrow{\text{S.O}} A'$$

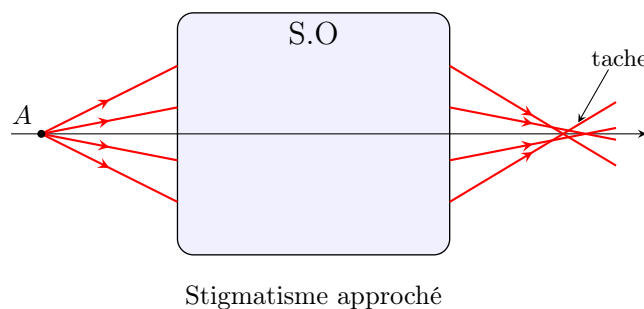
▷ Le stigmatisme rigoureux est difficile à réaliser. De plus, **il n'est pas nécessaire** au regard de la précision des détecteurs. En effet, lorsque l'on zoome sur une image, on voit apparaître des pixels (unités élémentaires de forme carrée qui composent une image). Si la tache qui remplace une image parfaitement ponctuelle est plus petite qu'un de ces pixels, l'image paraîtra nette. ♥

Il en va de même pour tous les détecteurs, y compris l'œil humain : il suffit que la taille de la tache soit plus petite que la taille d'une cellule rétinienne (quelques μm) pour que l'image formée sur la rétine soit nette. On se contente alors d'un **stigmatisme approché**.

Illustration avec un capteur numérique : 5×5 pixels

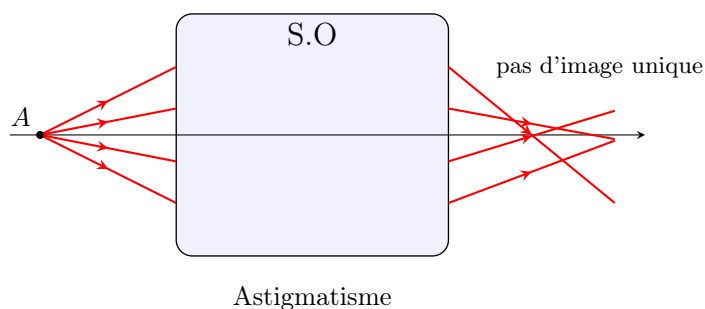


Stigmatisme rigoureux



Stigmatisme approché

Lorsque les rayons lumineux ne convergent pas en sortie du système (en un point ou dans une zone inférieure à la taille d'une cellule élémentaire de capteur optique), on parle d'astigmatisme.



Astigmatisme

**Remarque**

▷ Dans l'œil astigmatique, la cornée n'a plus la forme d'une calotte de sphère de courbure régulière, mais les rayons de courbure des deux méridiens principaux sont inégaux. L'image d'un point n'est donc plus un point, mais deux, sur la rétine. La vision est par conséquent floue de loin comme de près. L'astigmatisme s'accompagne d'une fatigue visuelle, en particulier lors de la lecture. L'astigmatisme peut également être responsable d'un dédoublement des images. Il peut être combiné à la myopie ou à l'hypermétropie, et avec l'âge, peut également s'associer à la presbytie.

I. 6 - Aplanétisme



Définition n°9 : Aplanétisme

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

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



Exemples

Lentille, lunette astronomique et microscope sont des systèmes centrés. En revanche, le périscope de sous-marin ou des grandes jumelles de surveillance marine n'en sont pas.

I. 7 - Conditions de Gauss



Application n°2 : De la lentille demi-boule aux conditions de Gauss

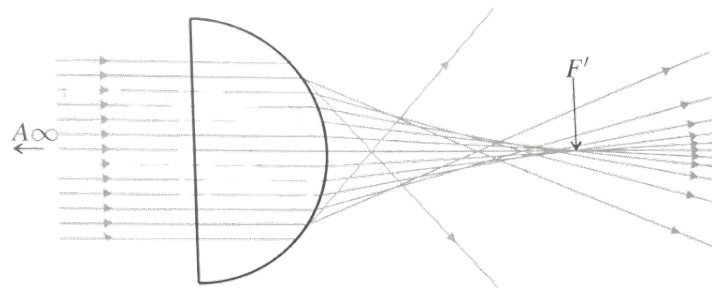


FIGURE 5 – Lentille demi-boule éclairée par un faisceau parallèle

- Q 1. Indiquer le phénomène physique mis en jeu ici.
- Q 2. À votre avis, l'image du point objet A situé à l'infini formera-t-il une image nette ?
- Q 3. Indiquer les modifications nécessaires pour former une image nette. *Vous effectuerez un schéma.*



Propriété n°6 : Rayons paraxiaux, conditions de Gauss

- ▷ Un rayon incident sur un système centré est dit **paraxial** quand les deux conditions suivantes sont respectées :
- le rayon est proche de l'axe optique du système ;
 - le rayon est peu incliné par rapport à l'axe optique ;

On dit alors qu'un système centré est utilisé dans les **conditions de GAUSS** si tous les rayons incidents sont des rayons paraxiaux. Un système centré utilisé dans les conditions de GAUSS donne de tout point objet (réel ou virtuel) une image ponctuelle approchée (réelle ou virtuelle).

▷ 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. Du tracé des rayons lumineux à la formation des images dans les systèmes optiques élémentaires

▷ On va désormais s'intéresser à la propagation de rayons lumineux dans des systèmes optiques centrés respectant les conditions de GAUSS, à savoir les miroirs plans et les lentilles minces (convergentes et/ou divergentes).

II. 1 - Miroir plan



Définition n°10 : Miroir plan

▷ Le miroir plan est une surface plane entièrement réfléchissante : il n'y a pas de réfraction. C'est le seul système optique rigoureusement stigmatique.



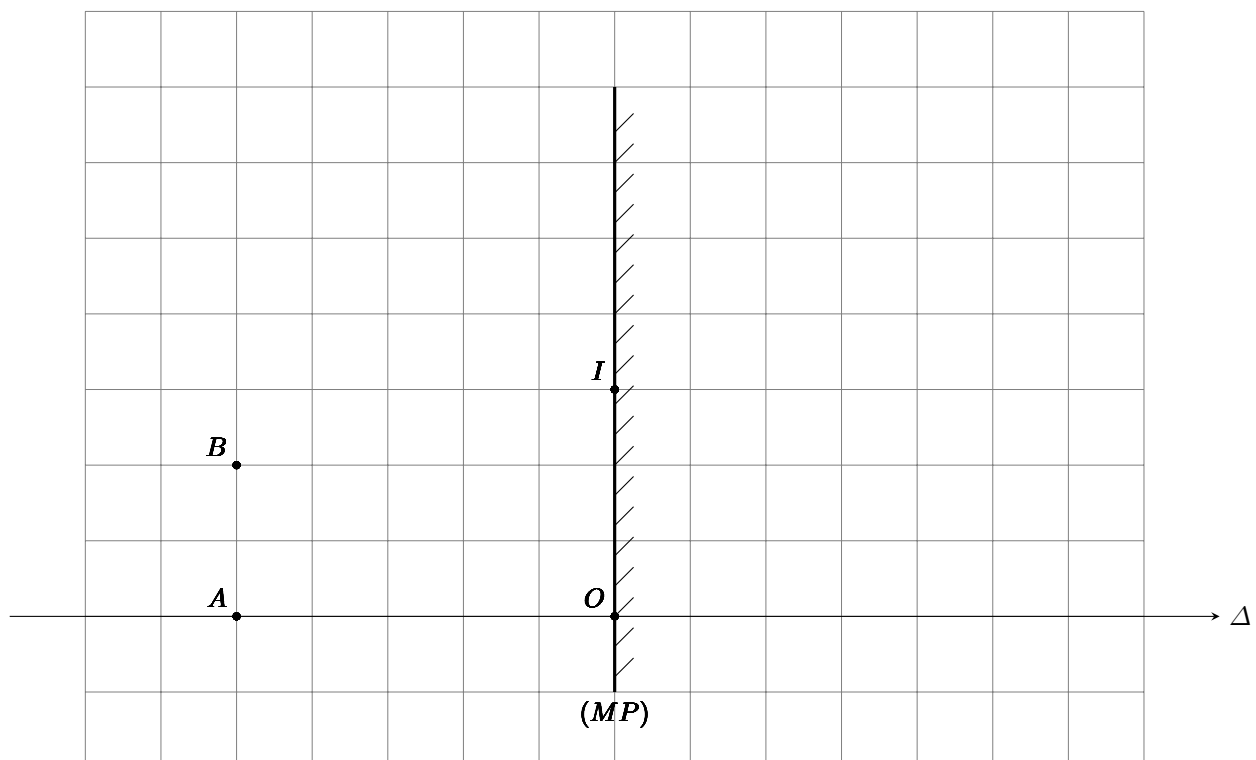
Méthode : Tracer des rayons lumineux issus d'un point objet réfléchis ensuite par un miroir plan

1. Construire le symétrique A' du point A par le miroir. A' est l'image virtuelle de A par le miroir plan. ♥
2. Construire un rayon lumineux issu de A allant jusqu'au miroir avec un angle quelconque. On notera I le point d'intersection entre le rayon lumineux et le miroir plan.
3. Tracer un rayon en pointillés entre A' et I .
4. Prolonger le rayon en pointillés depuis I en trait plein.



Application n°3 : Du tracé de rayons lumineux à la relation de conjugaison du miroir plan

▷ On considère un miroir plan noté (MP) ainsi que deux points objets A et B faisant office de sources ponctuelles monochromatiques.



- Q 1.** Déterminer les images de A et B par (MP) , et tracer les rayons réfléchis par (MP) issus de A et B .
- Q 2.** Indiquer une autre méthode qui permettrait de tracer ces rayons lumineux sans faire appel aux tracés des images de A et B .
- Q 3.** Déterminer la relation de conjugaison de (MP) .
Indication : c'est la formule reliant la position d'un objet à celle de son image par un système optique, en l'occurrence ici le miroir plan.

♥ Propriété n°7 : Relation de conjugaison d'un miroir plan

▷ Soit A un point objet situé sur l'axe optique (Δ) , O un point à l'intersection entre (Δ) et la surface réfléchissante d'un miroir plan (MP). La relation de conjugaison du miroir plan est :

$$\overline{OA} = -\overline{OA'}$$

II. 2 - Qu'est ce qu'une lentille mince ?

▷ La lentille est un dispositif optique qui constitue la brique de base de nombreux instruments d'optique (microscope, lunette, appareil photo ...). Il est ainsi nécessaire de s'attacher à la description des lentilles (nature et modélisation) afin de comprendre par la suite le fonctionnement des instruments qui en sont composés.

♥ Définition n°11 : Lentille mince

▷ 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** si elle fait converger en un point un faisceau parallèle incident tandis qu'une lentille aux bords épais est **divergente** : elle écarte (= fait diverger) un faisceau parallèle incident.

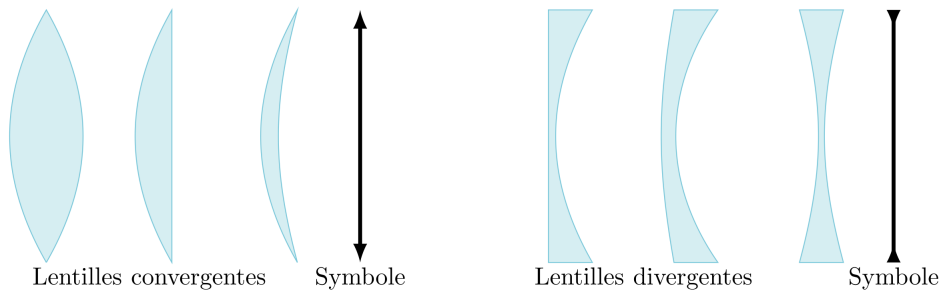


FIGURE 6 – Représentation de lentilles minces convergente et divergente

♥ Propriété n°8 : Lentille mince dans les conditions de Gauss

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

II. 3 - Points particuliers d'une lentille mince

II. 3. a) Centre optique

♥ Définition n°12 : 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.

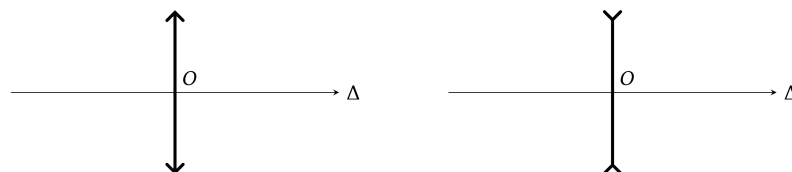


FIGURE 7 – Centre optique d'une lentille

II. 3. b) Foyers d'une lentille, lien entre distance focale et vergence

♥ Définition n°13 : Foyer objet, distance focale objet (rappel de lycée)

▷ Un objet lumineux placé au **foyer objet** F aura pour image un point à l'infini sur l'axe optique. Dans le cas d'une lentille convergente, le foyer objet est réel alors qu'il a le statut d'objet virtuel pour une lentille divergente.

De façon analogue, on définit la distance focale objet la distance algébrique $f = \overline{OF}$. f s'exprime en mètre.

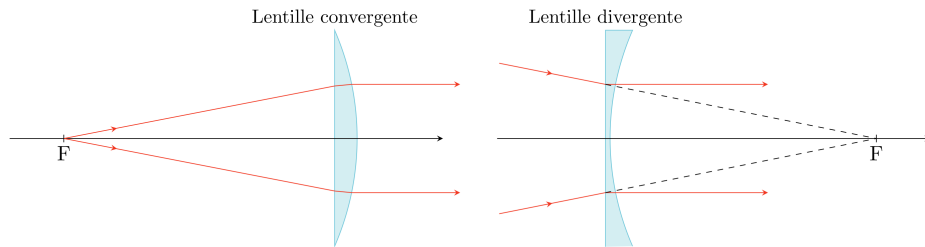


FIGURE 8 – Foyer objet d'une lentille

♥ Définition n°14 : Foyer image, distance focale image (rappel de lycée)

▷ L'image d'un point à l'infini sur l'axe optique est le **foyer image** F' . Dans le cas d'une lentille convergente, le foyer image est réel alors qu'il a le statut d'image virtuelle pour une lentille divergente.

De façon analogue, on définit la distance focale image la distance algébrique $f' = \overline{OF'}$. f' s'exprime en mètre.

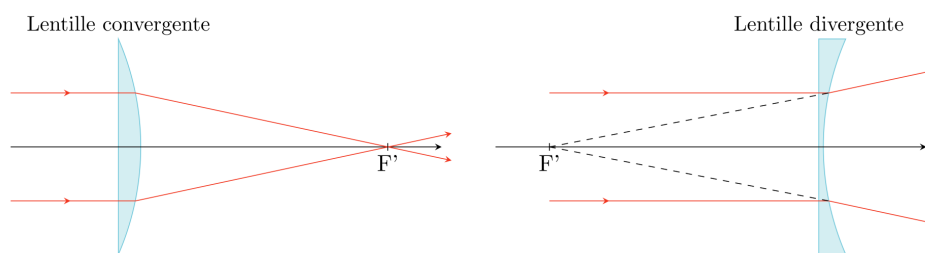


FIGURE 9 – Foyer image d'une lentille

📎 Remarques

- Bien évidemment : $f = -f'$.
- Dans le cas d'une lentille convergente F et F' sont réels et dans le cas d'une lentille divergente F et F' sont virtuels ;
- Les positions de F et F' pour une lentille divergente sont inversées par rapport aux lentilles convergentes ;
- F et F' ne sont pas conjugués par la lentille mince (F' n'est PAS l'image de F par la lentille).

Type de lentille	Signe de f	Signe de f'
Lentille convergente	< 0	> 0
Lentille divergente	> 0	< 0

♥ Définition n°15 : Vergence d'une lentille mince

Pour quantifier la capacité à faire converger les rayons on définit la vergence V d'une lentille par

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

Il s'agit donc d'une quantité algébrique qui a la dimension de l'inverse d'une longueur. Dans le SI, on l'exprime en dioptrie (δ) : $1 \delta = 1 \text{ m}^{-1}$.

- Si $V > 0$ la lentille est convergente et F' est à droite de O .
- Si $V < 0$ la lentille est divergente et F' est à gauche de O .

II. 3. c) Plans focaux et foyers secondaires



Définition n°16 : Plan focal objet (rappel de lycée)

▷ Le plan focal objet est le plan perpendiculaire à l'axe optique contenant le foyer objet.

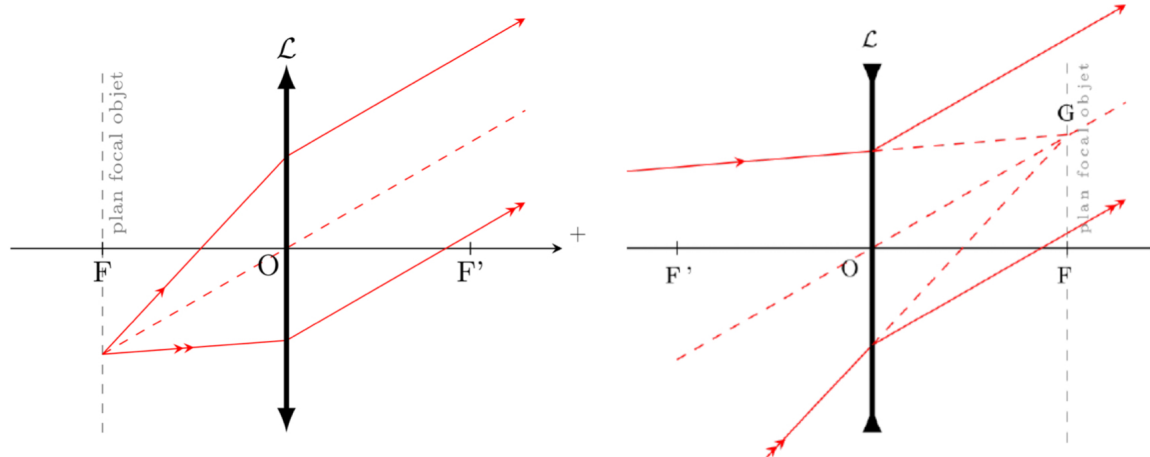


FIGURE 10 – Plan focal objet d'une lentille

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 . ♥ ♥ ♥



Définition n°17 : Plan focal image (rappel de lycée)

▷ Le plan focal image est le plan perpendiculaire à l'axe optique contenant le foyer image.

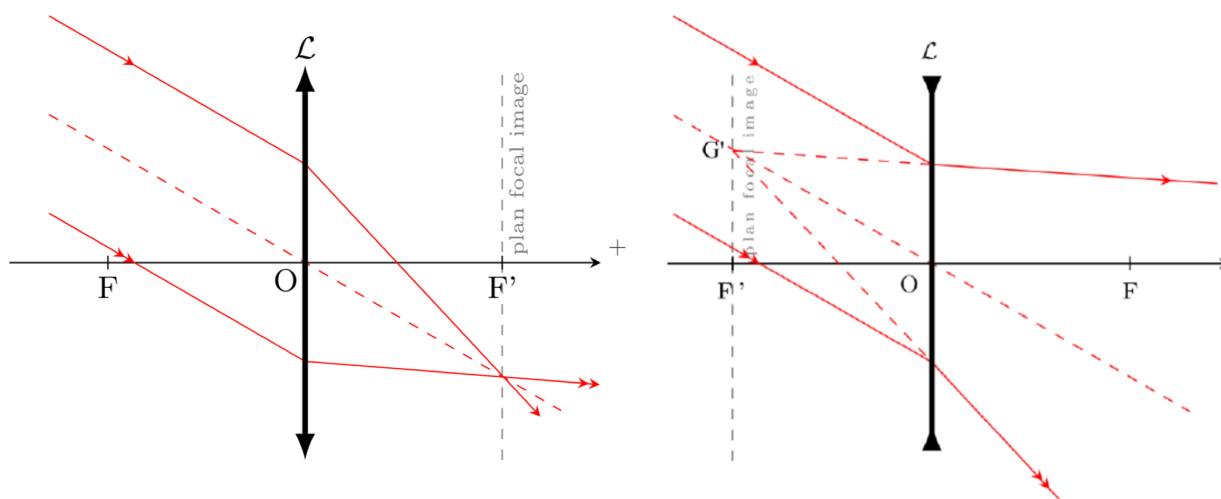


FIGURE 11 – Plan focal image d'une lentille

Tous rayons incidents parallèles entre eux se croisent nécessairement dans le plan focal image. ♥ ♥ ♥

II. 4 - Construction géométriques à travers des lentilles minces

▷ Cette partie du cours mérite une attention particulière, car toute la fin de l'optique de sup-MPSI et l'entièreté de celle vue en spé-MP repose sur la compréhension fine des méthodes évoquées ci-dessous. Il faut donc savoir les appliquer parfaitement !



Méthode : Tracer l'image d'un objet (à une distance finie) par une lentille

▷ Pour déterminer la position de l'image (réelle ou virtuelle) par construction graphique, il ne faut que 2 rayons lumineux.

1. Commencer par tracer le rayon lumineux qui n'est pas dévié : c'est la droite (OB).
2. Tracer un rayon parallèle à l'axe optique et passant par B . Il est en traits pleins avant la lentille, et en pointillés après la lentille. Ce rayon passe nécessairement par le foyer image de la lentille.
3. Noter l'emplacement du point image B' de B par la lentille mince $\mathcal{L}$ résultant de l'intersection des deux rayons lumineux précédemment tracés. Par aplanétisme, en déduire la position de A' .
4. Tracer l'image en pointillés (=image virtuelle si au moins l'un des rayons lumineux qui intercepte B' est en pointillés (=rayon lumineux virtuel), sinon en trait plein (=image réelle).



Méthode : Tracer un rayon émergent à partir d'un rayon incident quelconque

1. Tracer le rayon lumineux passant par le centre optique O de la lentille, parallèle au rayon incident en pointillés : ce rayon n'est pas dévié et coupe le plan focal image de la lentille au niveau du foyer secondaire image que l'on notera φ' .
2. Sachant que "tous rayons lumineux incidents parallèles entre eux à l'entrée d'une lentille convergent au foyer secondaire image lorsque ceux-ci sont en incidence quelconque" ♥, poursuivre la marche du rayon lumineux de telle manière à ce qu'il passe par φ' .



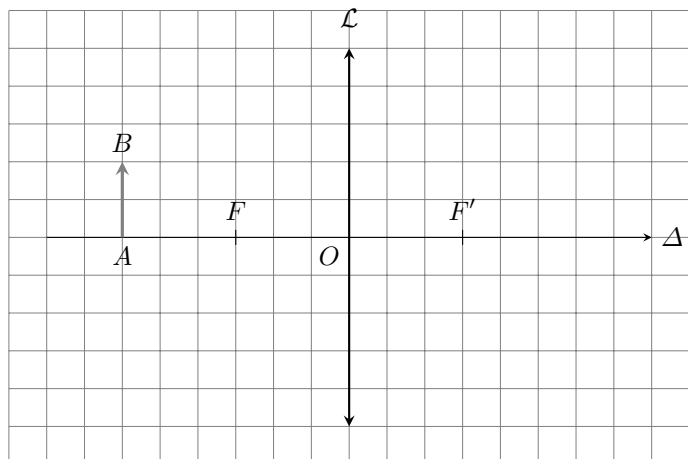
Méthode : Tracer un rayon incident à partir d'un rayon émergent quelconque

1. Tracer le rayon lumineux passant par le centre optique O de la lentille, parallèle au rayon incident en pointillés : ce rayon n'est pas dévié et coupe le plan focal objet de la lentille au niveau du foyer secondaire objet que l'on notera φ .
2. Sachant que "tous rayons lumineux émergents parallèles entre eux en sortie d'une lentille sont tous issus du foyer secondaire objet lorsque ceux-ci sont en incidence quelconque" ♥, poursuivre la marche du rayon lumineux de telle manière à ce qu'il passe par φ .

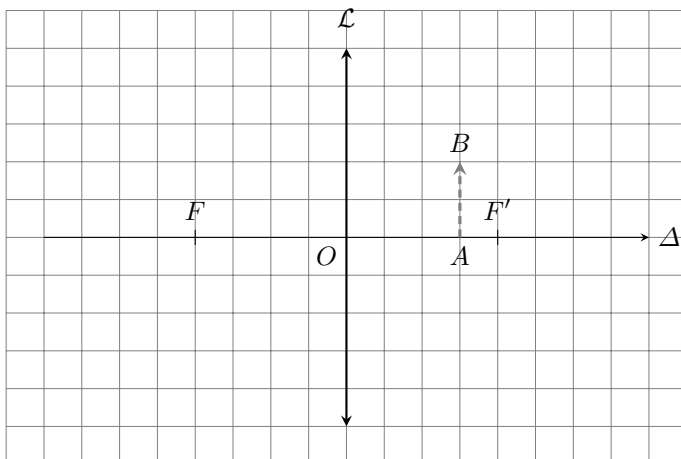


Application n°4 : Tracés de rayons lumineux à travers une lentille convergente

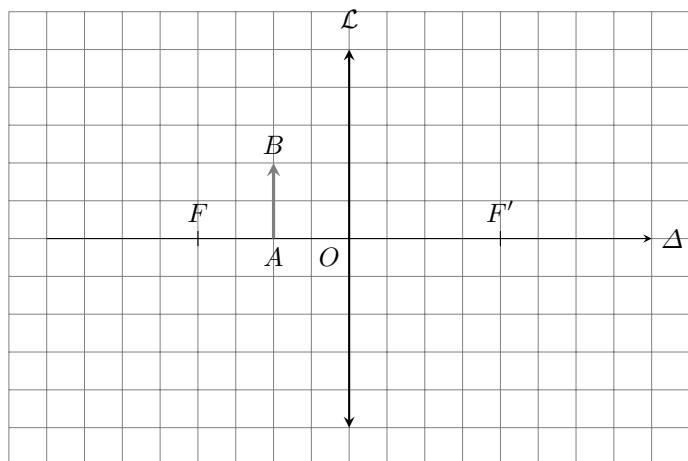
▷ Dans tous les cas présentés ci-dessous, tracer les rayons lumineux à travers la lentille convergente afin de trouver l'image correspondante (cas n°1,2,3 et 4) ou bien la direction des rayons émergent/incident (cas n°5 et 6).



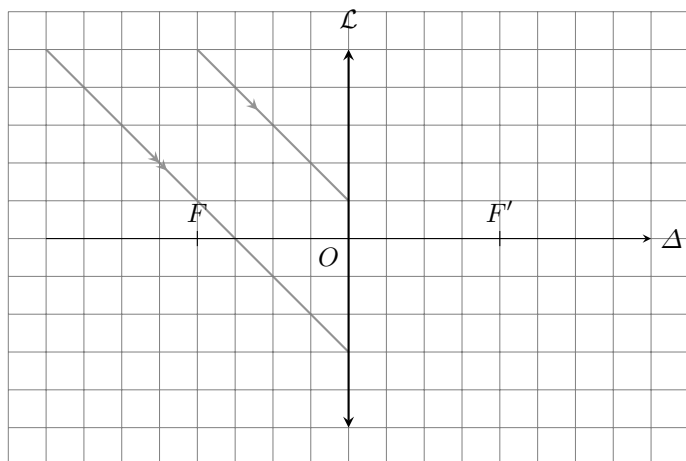
Cas n°1 : Objet réel situé avant le foyer objet



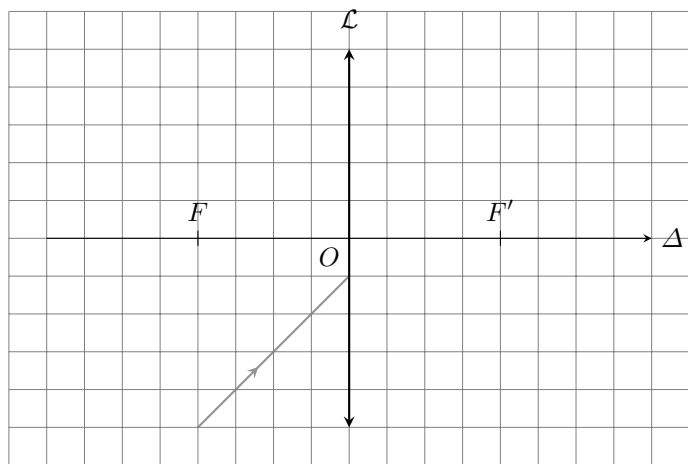
Cas n°3 : Objet virtuel situé avant le foyer image



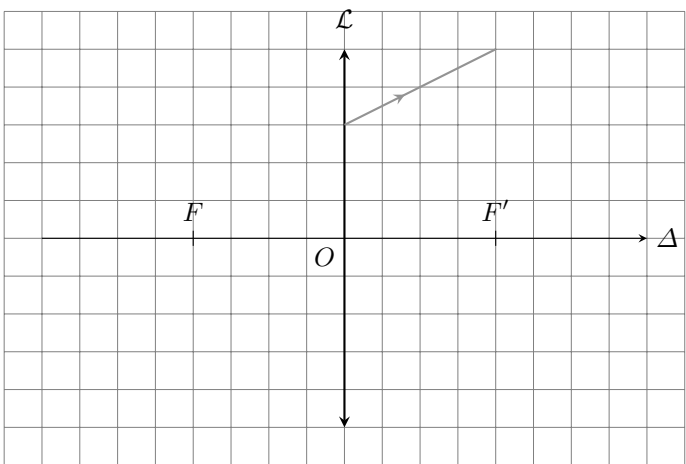
Cas n°2 : Objet réel situé après le foyer objet



Cas n°4 : Rayons lumineux provenant d'un objet à l'infini



Cas n°5 : Rayon lumineux incident sur la lentille

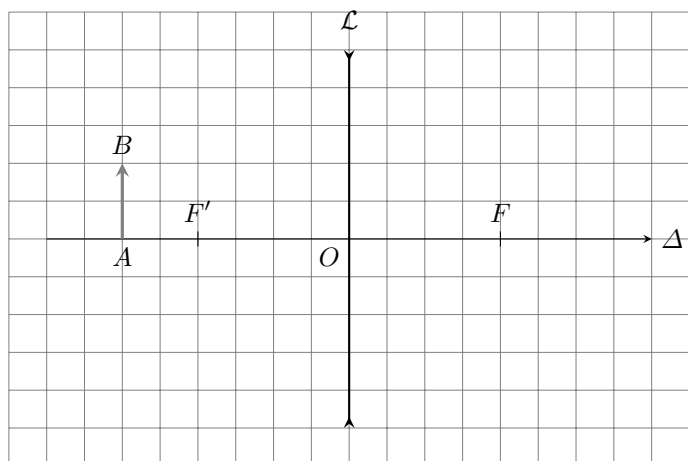


Cas n°6 : Rayon lumineux émergent de la lentille

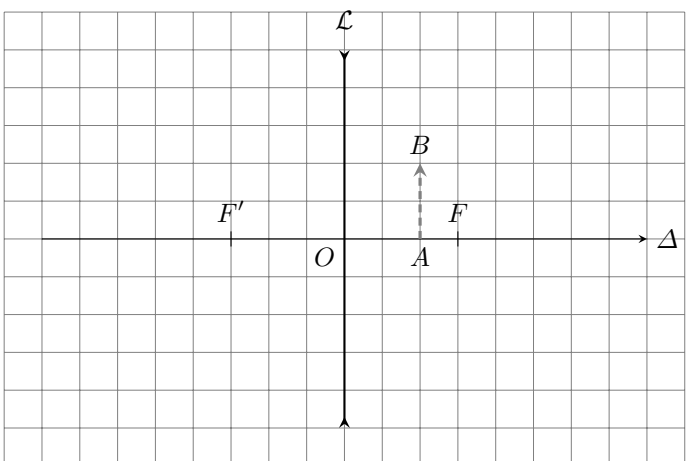


Application n°5 : Tracés de rayons lumineux à travers une lentille divergente

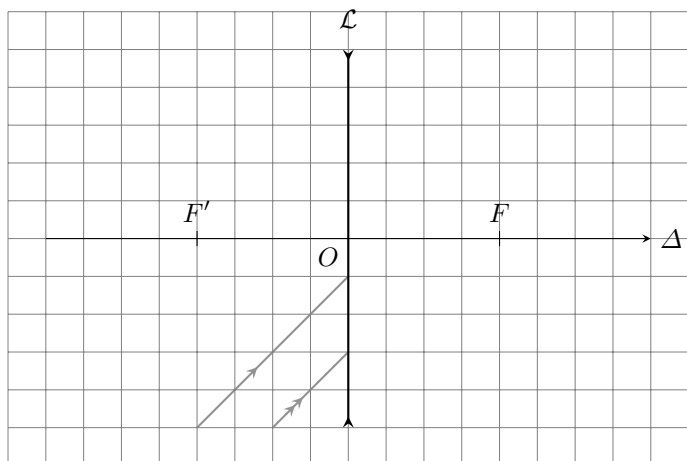
▷ Dans tous les cas présentés ci-dessous, tracer les rayons lumineux à travers la lentille divergente afin de trouver l'image correspondante (cas n°1,2,3 et 4) ou bien la direction des rayons émergents (cas n°5 et 6).



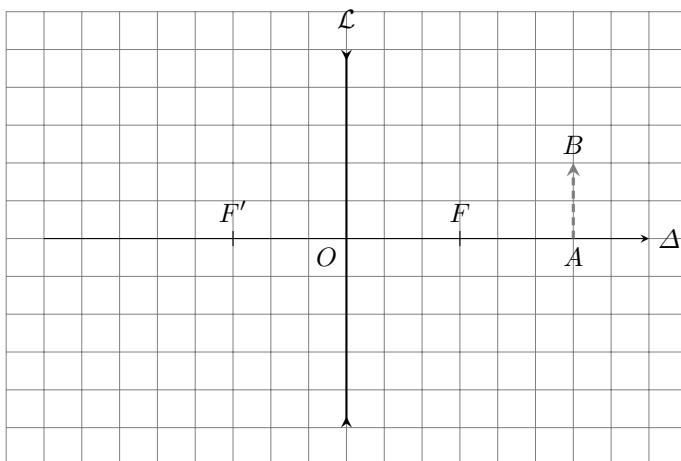
Cas n°1 : Objet réel situé avant le centre optique



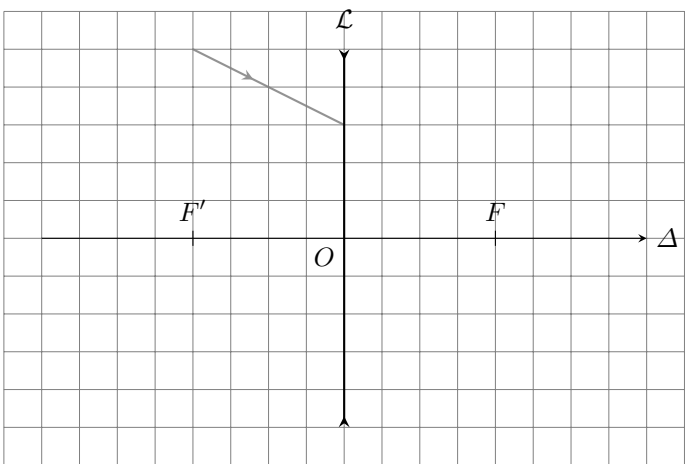
Cas n°3 : Objet virtuel situé avant le foyer objet



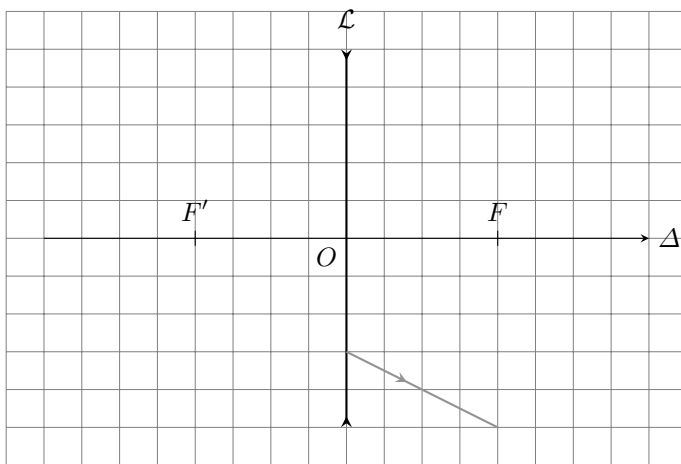
Cas n°2 : Rayons lumineux provenant d'un objet à l'infini



Cas n°4 : Objet virtuel situé après le foyer objet



Cas n°5 : Rayon lumineux incident sur la lentille



Cas n°6 : Rayon lumineux émergent de la lentille

II. 5 - Relations de conjugaison et de grandissement transversal des lentilles

► Les images trouvées par des constructions géométriques peuvent se calculer en utilisant les relations de conjugaison. Ces relations vont par deux :

- une **formule de position** liant les positions de deux points A et A' conjugués appartenant à l'axe optique ;
- une **formule de grandissement** exprimant le grandissement $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ exprimant les rapports de taille entre l'objet et l'image ainsi que leurs positions relatives par rapport à l'axe optique.

► Les relations de conjugaison de position des lentilles minces vous seront données le jour du concours. Il vous faudra alors savoir les utiliser pour isoler le terme qui vous intéresse.

Relations de conjugaison de NEWTON (relation avec origine aux foyers) :

$$\boxed{\overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = -f'^2 = f \cdot f'} \quad (\text{formule de position})$$

$$\boxed{\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'} = -\frac{f}{\overline{FA}}} \quad (\text{formule de grandissement})$$

Relations de conjugaison de DESCARTES (formule avec origine au centre) :

$$\boxed{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} = V} \quad (\text{formule de position})$$

$$\boxed{\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}} \quad (\text{formule de grandissement})$$



Propriété n°9 : Interprétation des valeurs du grandissement

- γ est une grandeur algébrique. $\begin{cases} \gamma > 0 \rightarrow \text{l'image et l'objet sont dans le même sens.} \\ \gamma < 0 \rightarrow \text{l'image est renversée.} \end{cases}$
- Si $|\gamma| > 1$, alors l'image est plus grande que l'objet ;
- Si $|\gamma| < 1$, alors l'image est plus petite que l'objet ;



Application n°6 : Manipulation express des relations de conjugaison

- ▷ On considère une lentille convergente de vergence $V = 10 \delta$. On place un objet de taille $\overline{AB} = 2,0 \text{ cm}$ à une distance $D = 5 \text{ cm}$ en amont du foyer objet de la lentille.
- Q 1. Déterminer par le calcul la position de l'image.
 - Q 2. Indiquer si l'image est réelle ou virtuelle.
 - Q 3. Calculer la taille de l'image.
 - Q 4. Vérifier les résultats par un tracé.

II. 6 - Former une image réelle avec une lentille mince convergente

▷ Vous êtes en TP d'optique et souhaitez projeter l'image d'un objet rétroéclairé sur un écran de façon à ce qu'elle soit la plus agrandie possible tout en prenant garde à ce qu'elle soit aussi lumineuse et nette que possible. Cependant, après avoir choisi une lentille convergente $\mathcal{L}$ de distance focale $f' = 20 \text{ cm}$ et en fixant la distance objet-écran D telle que $D = 60 \text{ cm}$, vous avez beau déplacer $\mathcal{L}$ sur tout le banc optique, vous n'arrivez pas à former d'image et vous trouvez bien dépourvu... Que pouvez-vous faire pour remédier à ce problème ?



Application n°7 : Résolution du problème rencontré en TP

- ▷ On schématise le dispositif ci-dessous : on voit un point image net si la lentille forme l'image de l'objet **exactement** sur l'écran. On note x la position de la lentille sur l'axe optique.

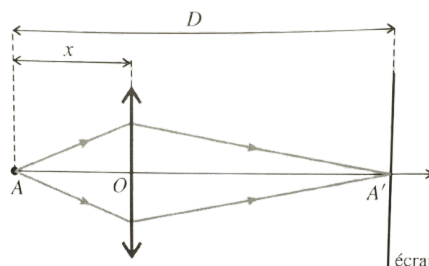


FIGURE 12 – Projection d'une image nette sur un écran

- Q 1. En appliquant la relation de conjugaison de DESCARTES, montrer que l'on aboutit à l'équation suivante :

$$x^2 - xD + Df' = 0$$

- Q 2. En déduire la condition portant sur D et f' pour former une image nette sur l'écran. *Cette condition porte le nom de "condition de BESSEL".* ♥ ♥
- Q 3. Déterminer les deux positions de la lentille permettant d'obtenir une image nette.
- Q 4. Pour avoir une image agrandie, faut-il placer la lentille plus proche de l'objet ou de l'écran ?
- Q 5. Synthétiser les résultats obtenus afin de répondre au problème initial.
- Q 6. À l'aide des questions précédentes, indiquer une manière de mesurer la distance focale f' d'une lentille convergente.