

O2	Optique géométrique Image d'un objet par un miroir plan ou par une lentille mince	MPSI 2
----	--	--------

I. OBJETS ET IMAGES D'OBJETS PAR UN SYSTEME OPTIQUE

1. Définitions

On appelle **système optique**, une succession de milieux linéaires, transparents, homogènes et isotropes, limités par des dioptries ou des miroirs.

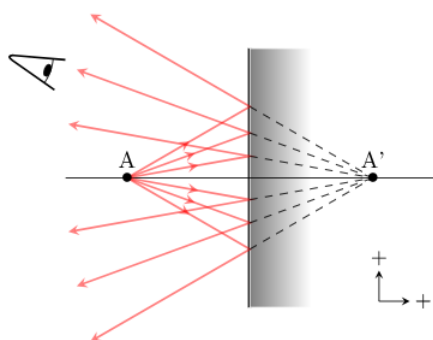
Un **système optique est dit centré**, s'il accepte un axe de symétrie de révolution. Cet axe de symétrie est appelé

On dit qu'un objet est s'il est orthogonal à l'axe optique

On appelle **face d'entrée** d'un système optique, la face par laquelle la lumière incidente pénètre dans le système.

On appelle **face de sortie**, la face par laquelle émerge la lumière.

Cas du miroir plan



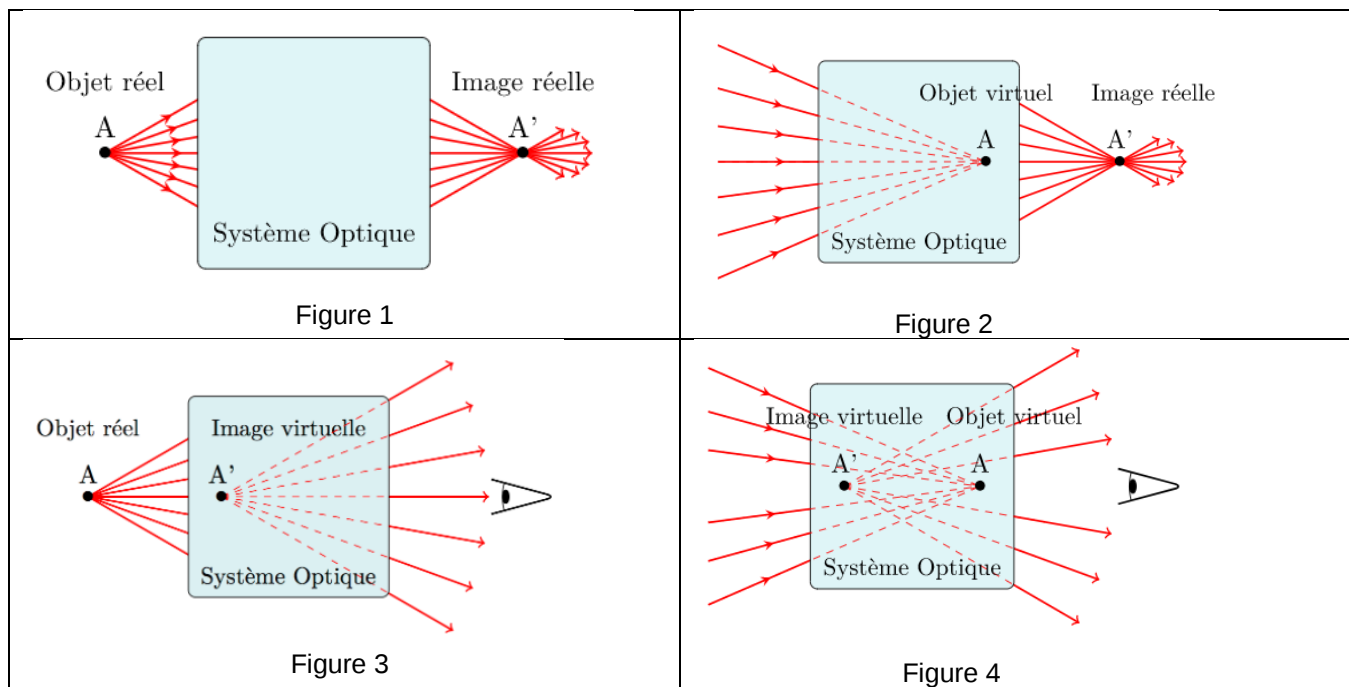
Un **miroir plan** est un système optique constitué d'une seule face plane réfléchissante : les faces d'entrée et de sortie sont confondues (c'est la surface du miroir).

L'intégralité de la lumière est réfléchi selon les lois de Snell-Descartes.

2. Objets et images, réel(le)s ou virtuel(le)s (cf. schéma ci-dessus)

- On s'intéresse au point A et on considère un faisceau de lumière issu de A.
A est le point
Tous les rayons qui se croisent en A et qui sont orientés vers le système optique sont appelés rayons
- Après réflexion sur le miroir (dans le cas d'un miroir), on parle de **rayons** (**ou rayons émergents en général**). À l'intersection des rayons réfléchis (ou de leurs prolongements) se trouve le point A'.
A' est appelé point de A à travers le miroir.
- Un rayon est dit réel** s'il existe physiquement. On le représente en traits pleins.
Un rayon est dit virtuel s'il n'existe pas physiquement (prolongement d'un rayon réel). On le représente en traits pointillés.
- Un objet ou une image sont réels** s'ils se trouvent à l'intersection de rayons réels.
Un objet ou une image sont virtuels s'il se trouvent à l'intersection de rayons virtuels.

Remarque : Dans le cas du miroir plan, l'image A' d'un objet réel A est virtuelle (cf. schéma) et réciproquement : A (réelle) $\rightarrow$ A' (virtuelle) et A (virtuelle) $\rightarrow$ A' (réelle)



Comment observer l'image d'un objet ??

- une image **réelle** est visible sur **un écran** placé en A' **ou à l'œil nu** si on positionne notre œil en A'.
- une image **virtuelle** ne peut être observée qu'à **l'œil nu** (on positionne l'œil derrière la face de sortie du système, l'œil reçoit ainsi les rayons émergents).

3. Stigmatisme et conditions de Gauss

♥ Stigmatisme

Un système optique est dit **stigmatique** pour un couple de points (A, A') si tous les rayons incidents (ou leurs prolongements) passant par un point A émergent du système en passant par un unique point A'. Dans ces conditions, on dit que A et A' sont **conjugués l'un de l'autre** ou bien que **A' est le point image de A** par le système optique.

Remarque : on distingue deux types de stigmatisme :

- Le stigmatisme rigoureux : tous les rayons incidents issus de A passent rigoureusement par un seul point A' (l'image d'un point est un point).
Exemple de système stigmatique pour tous les points : Miroir plan.
- Le stigmatisme approché : tous les rayons incidents issus de A passent au voisinage de A', l'image de A est une petite tache centrée en A'. Il y a un stigmatisme approché si la dimension de cette tache est inférieure à la dimension d'une cellule du capteur (cellule rétinienne pour l'œil, pixel d'un APN)
Exemples : lentilles minces et miroirs sphériques dans certaines conditions (cf ci-dessous).
Cf : http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/dioptres/stig_dioptre_plan.php

→ Dans le cas des lentilles minces ou des miroirs sphériques, si on veut avoir un stigmatisme approché (et donc des images nettes), il faudra se placer dans des conditions expérimentales appelées **conditions de Gauss**

♥ Les **conditions de Gauss** sont les conditions permettant à un système optique centré de présenter un **stigmatisme approché** (l'image d'un point A est alors un unique point A' à travers le système optique).

Les conditions de Gauss sont les suivantes :

- Les rayons incidents forment un "petit" angle avec l'axe optique
- Les rayons arrivent sur le système en un point qui est proche de l'axe optique
→ On parle alors de **rayons paraxiaux**.

Schéma :

Remarque : l'angle et la distance définis précédemment seront suffisamment "petits" si l'extension spatiale de l'image est inférieure à la dimension d'un détecteur (cellule rétinienne pour l'œil, pixel d'un APN (appareil photo numérique)...).

Expérimentalement, pour se placer dans les conditions de Gauss, on choisit un petit objet centré sur l'axe et éclairé par un faisceau peu divergent (on utilise un condenseur et on peut placer un diaphragme à l'entrée du système optique pour limiter les rayons éloignés de l'axe et fortement inclinés par rapport à l'axe).

Bilan :

Si les conditions de Gauss sont respectées (rayons incidents paraxiaux) alors il y a :

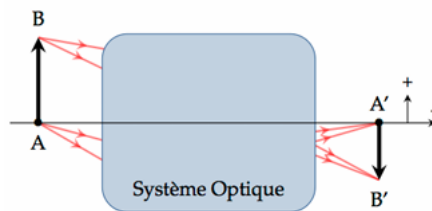
- Stigmatisme (l'image d'un point A est un point A' → netteté des images)
- Aplanétisme (l'image d'un objet transverse (plan et perpendiculaire à l'axe optique) est une image transverse)

Remarque : les conditions de Gauss diminuent également les aberrations chromatiques.

4. Grandissements et foyers

♥ Grandissement transversal γ

Soient A un point de l'axe optique d'un système centré et B tel que AB soit un objet transverse. Soient A' et B' leurs conjugués par le système optique. A'B' est l'image de AB par le système optique.



Le rapport $\gamma = \frac{A'B'}{AB}$ est appelé grandissement transversal associé au couple (A,A').

Lorsque $\gamma > 0$, on dit que l'image est **droite**. Lorsque $\gamma < 0$, on dit que l'image est **renversée**.

Lorsque $|\gamma| > 1$, on dit que l'image est **agrandie**. Lorsque $|\gamma| < 1$, on dit que l'image est **rétrécie**.

Les sens (gauche, droite, bas, haut) étant orientés, il est fondamental d'utiliser les notations algébriques !

Notion d'objet à l'infini

Si un objet A est très éloigné d'un système optique, les rayons issus de A qui parviennent au système sont presque parallèles.

Cas du Soleil :

♥ Foyers, plans focaux, système afocal

On appelle **foyer principal image** (généralement noté F') d'un système optique centré, l'image d'un point objet situé à l'infini dans la direction de l'axe optique ("sur l'axe optique").

Le plan perpendiculaire à l'axe optique passant par F' est appelé **plan focal image**.

Les points appartenant à ce plan sont appelés **foyers secondaires images F'_s (points images conjugués de points objets à l'infini mais hors de l'axe optique)**.

On appelle **foyer principal objet** (généralement noté F) d'un système optique centré, l'objet d'un point image situé à l'infini dans la direction de l'axe optique ("sur l'axe optique").

Le plan perpendiculaire à l'axe optique passant par F est appelé **plan focal objet**.

Les points appartenant à ce plan sont appelés **foyers secondaires objets F_s (points objets conjugués de points images à l'infini mais hors de l'axe optique)**.

Si les deux foyers sont situés à l'infini, **le système est dit afocal**.

Schémas :

Attention : F n'est pas le conjugué de F' (c'est le conjugué d'un point à l'infini sur l'axe) !!!

II. IMAGE D'UN OBJET PAR UN MIROIR PLAN

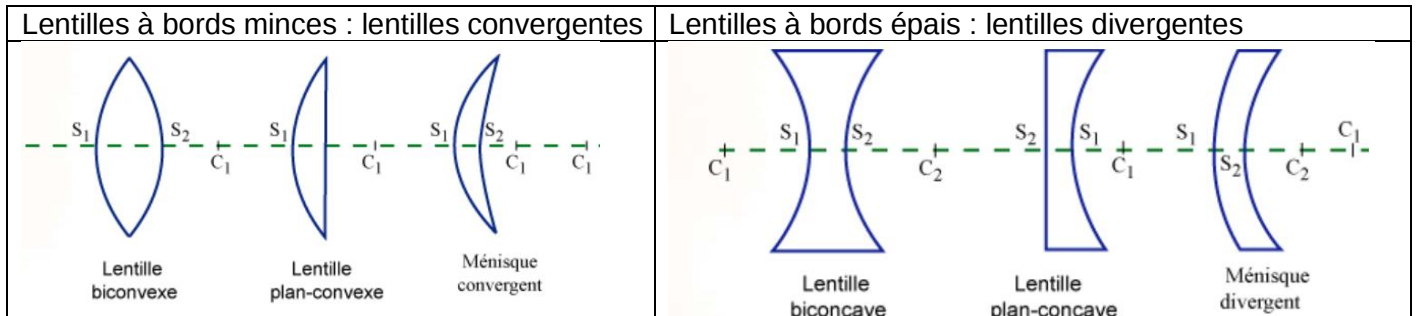
Construction de l'image A'B' d'un objet AB à travers un miroir plan :

Image d'un objet ponctuel A réel	
Image d'un objet ponctuel A virtuel	
Image d'un objet étendu transverse AB	
AB transverse	AB non transverse
On retiendra que :	

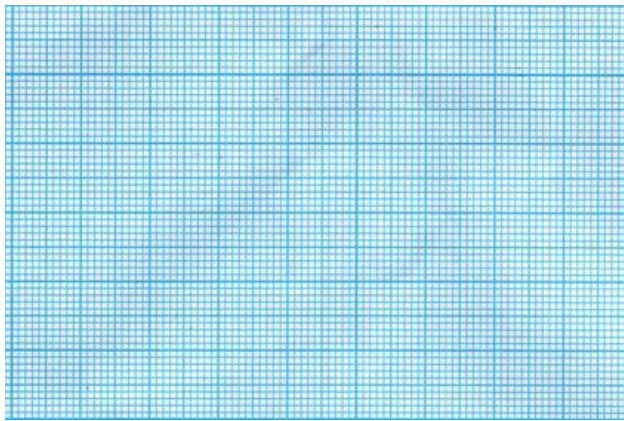
III. IMAGE D'UN OBJET PAR UNE LENTILLE MINCE SPHERIQUE

1. Définitions

Une **lentille sphérique** est un milieu transparent, linéaire, homogène et isotrope délimité par deux dioptries sphériques (ou un dioptre plan et un dioptre sphérique) présentant une symétrie de révolution, ce qui permet de lui associer un **axe optique** : c'est donc un **système centré**.



- Une **lentille est dite mince** si son épaisseur $e = S_1S_2$ est négligeable devant R_1 et R_2 , les rayons de courbure des faces, et devant la différence $|R_1 - R_2|$.



→ Dans ce cas (cas d'une lentille mince) : $S_1 \equiv S_2 \equiv O$ où **O** est appelé **centre optique de la lentille**

2. Caractéristiques d'une lentille mince

- Une lentille mince possède :
 - un centre optique O (cf. ci-dessus) et un axe optique passant par O.
 - un foyer objet F et un foyer image F' symétrique de F par rapport à O, tous deux sur l'axe optique.

On note la **distance focale objet**.

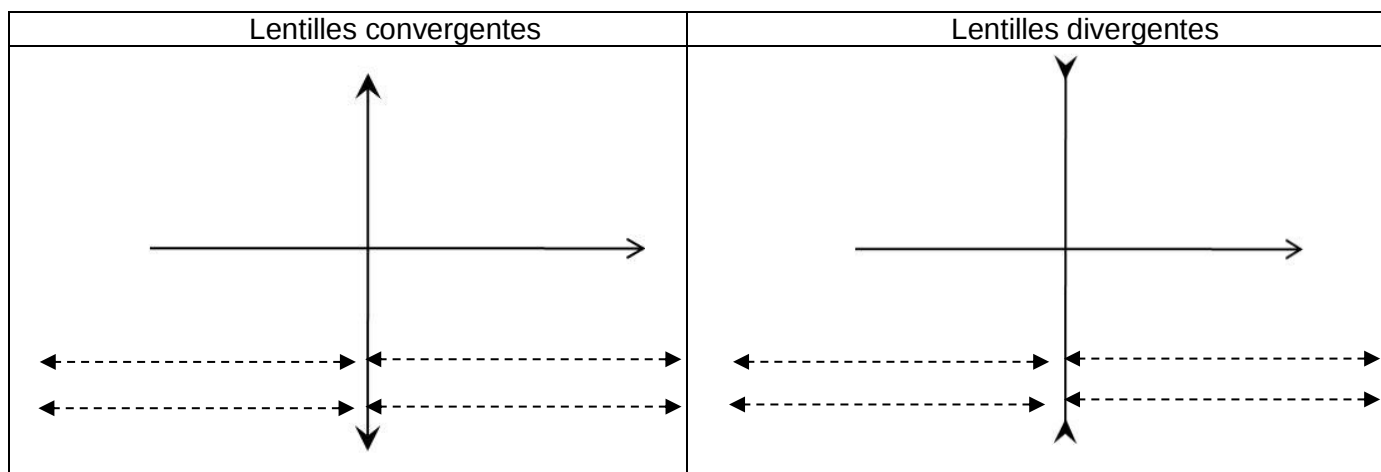
On note la **distance focale image** appelée aussi "**focale de la lentille**".

Attention : f et f' sont algébriques c'est-à-dire qu'elles peuvent être positives ou négatives (sens positif : dans le sens des rayons incidents en général)

La **vergence** d'une lentille dans l'air est : Elle s'exprime en m^{-1} ou en dioptries (δ)

Remarque : • Lentille convergente $\Rightarrow V > 0, f' > 0, (f < 0)$.
 • Lentille divergente $\Rightarrow V < 0, f' < 0, (f > 0)$.

3. Schématisation



4. Quelques rayons caractéristiques

- Pour tout rayon incident parallèle à l'axe optique, le support du rayon émergent passe par
- Pour tout rayon incident passant, le support du rayon émergent est parallèle à l'axe optique.
- Tout rayon incident passant par le centre optique O

5. Construction des images

a. Méthode pour tracer l'image A'B' d'un objet AB par une lentille mince

→ On cherche tout d'abord l'image B' de B :

Pour cela on trace au moins deux des trois rayons suivants :

- rayon incident passant par et
→ le rayon émergent.....
- rayon incident passant par et
→ le rayon émergent.....
- rayon incident passant par et
→ le rayon émergent.....

À l'intersection des rayons émergents on obtient B'.

→ On en déduit la position de A'

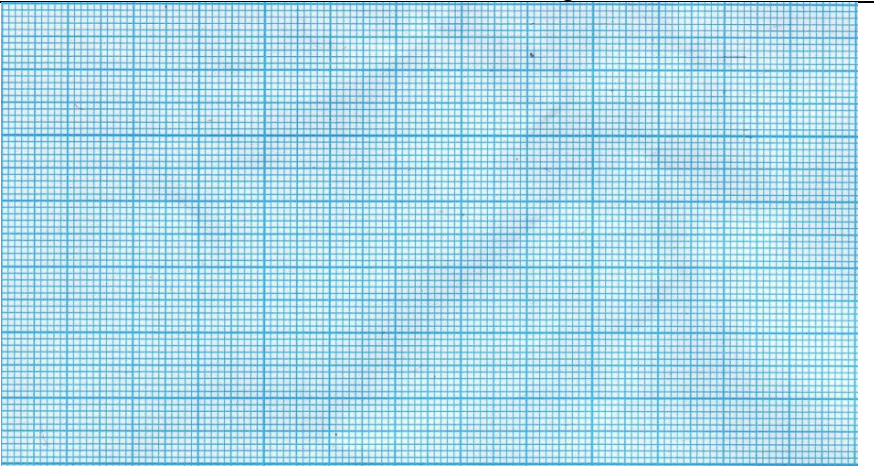
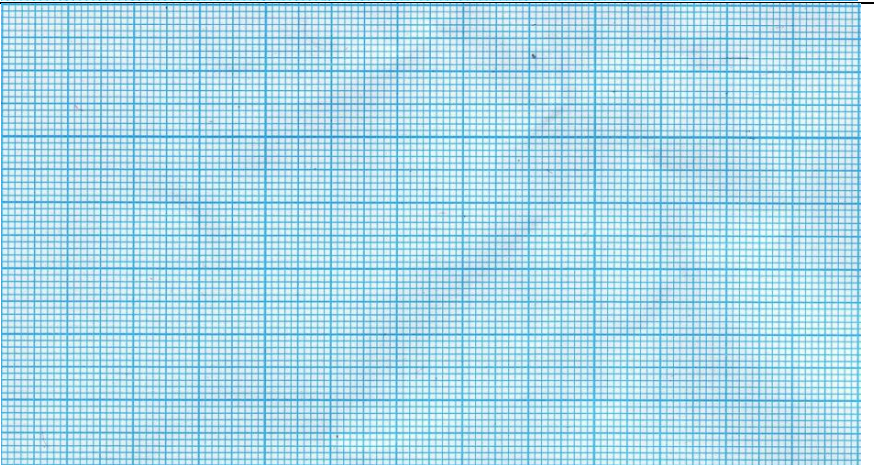
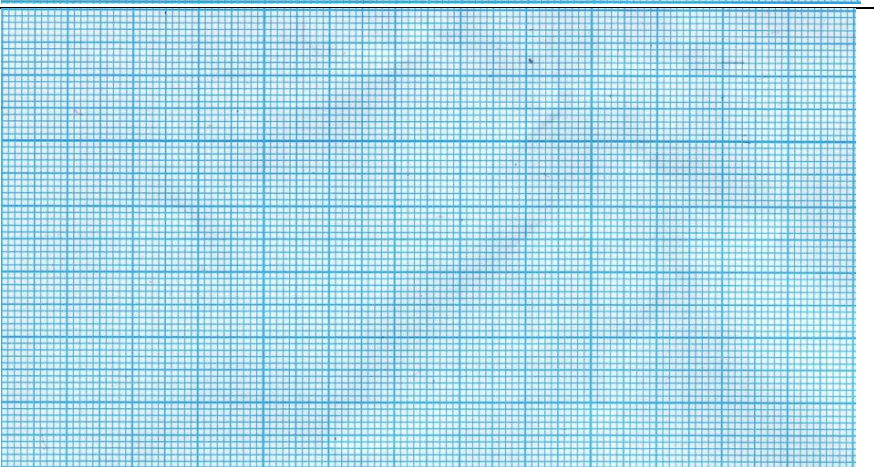
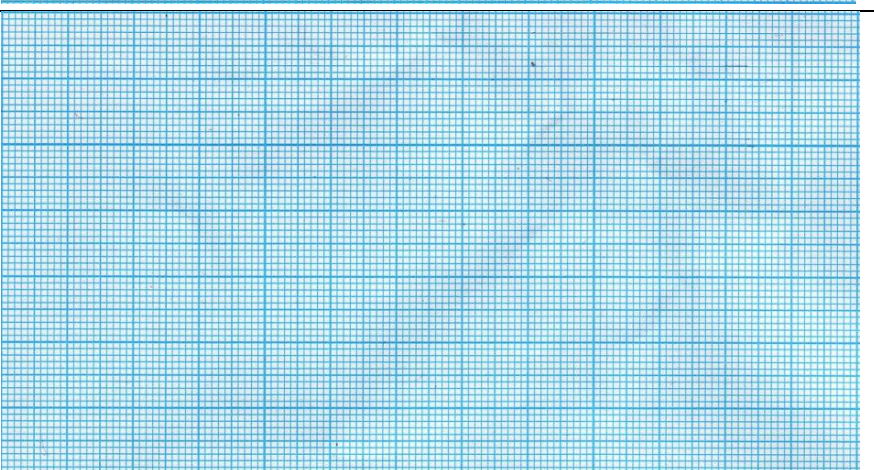
Par aplanétisme, A' est à l'aplomb de B' sur l'axe optique → On a alors trouvé l'image A'B' de AB

Règles générales pour le tracé :

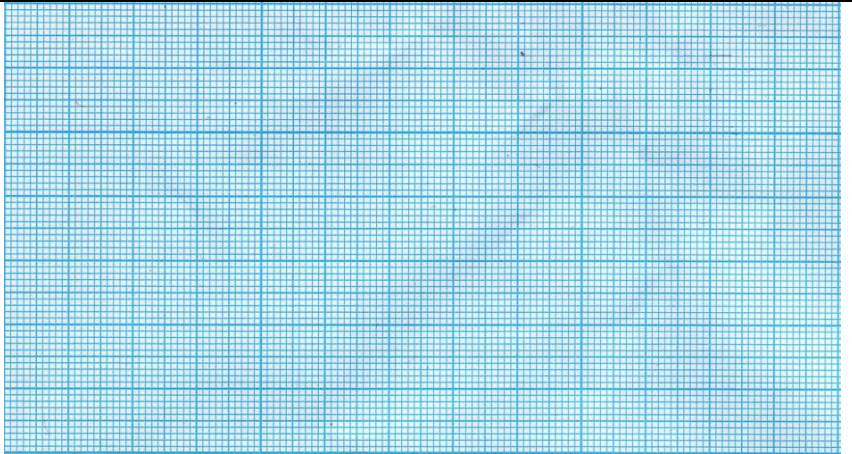
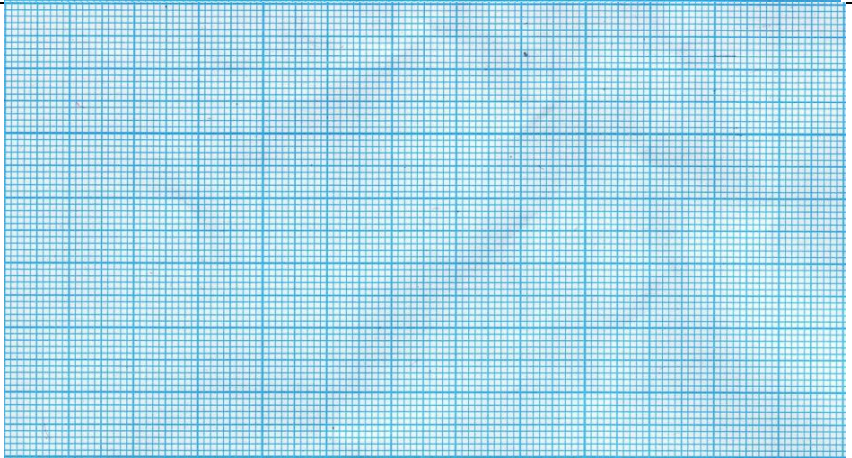
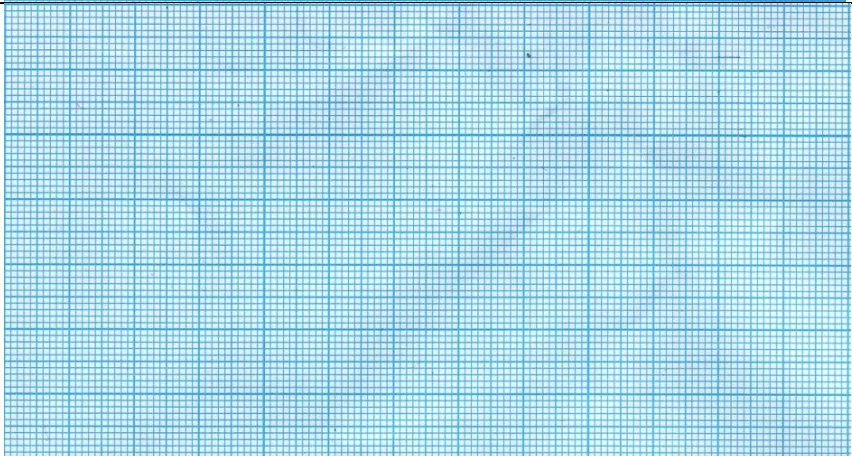
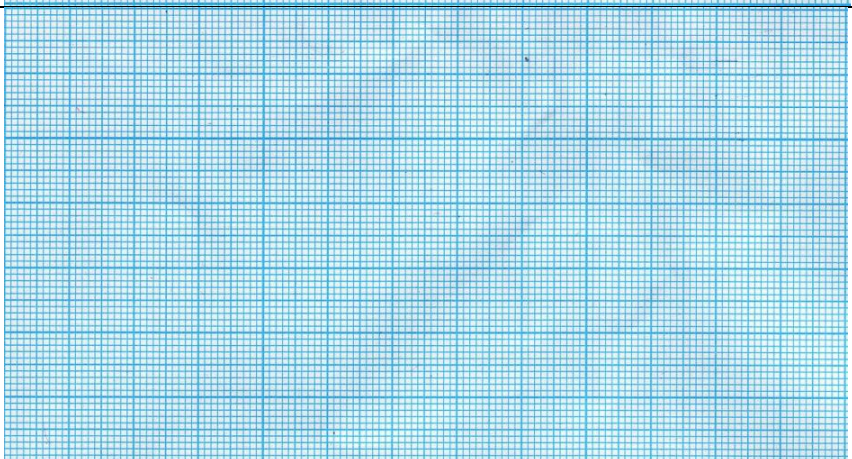
On tracera :

- en traits pleins les rayons réels, objets réels et images réelles ;
- en pointillés les rayons virtuels (prolongement des rayons réels), objets virtuels et images virtuelles.

Lentille convergente

Objet	Constructions de l'image	Image
		
		
		
		

Lentille divergente

Objet	Constructions de l'image	Image
		
		
		
		

Remarque :

- Pour une lentille CV : seul un objet placé entre ... et ... donne une image virtuelle.
- Pour une lentille DV : seul un objet placé entre ... et ... donne une image réelle.

b. Méthode pour poursuivre le trajet d'un rayon incident sur une lentille s'il ne possède aucune des propriétés précédentes

Point méthode Si un rayon quelconque arrive sur une lentille mince convergente, comment émerge-t-il de la lentille ?

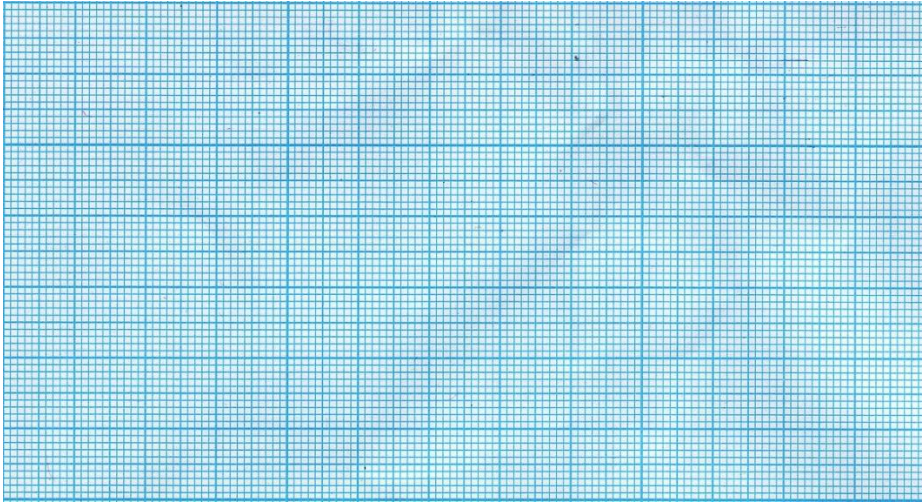
Point méthode Si un rayon quelconque émerge d'une lentille mince convergente, comment trace-t-on le rayon incident correspondant ?

Point méthode Si un rayon quelconque arrive sur une lentille mince divergente, comment émerge-t-il de la lentille ?

Point méthode Si un rayon quelconque émerge d'une lentille mince divergente, comment trace-t-on le rayon incident correspondant ?

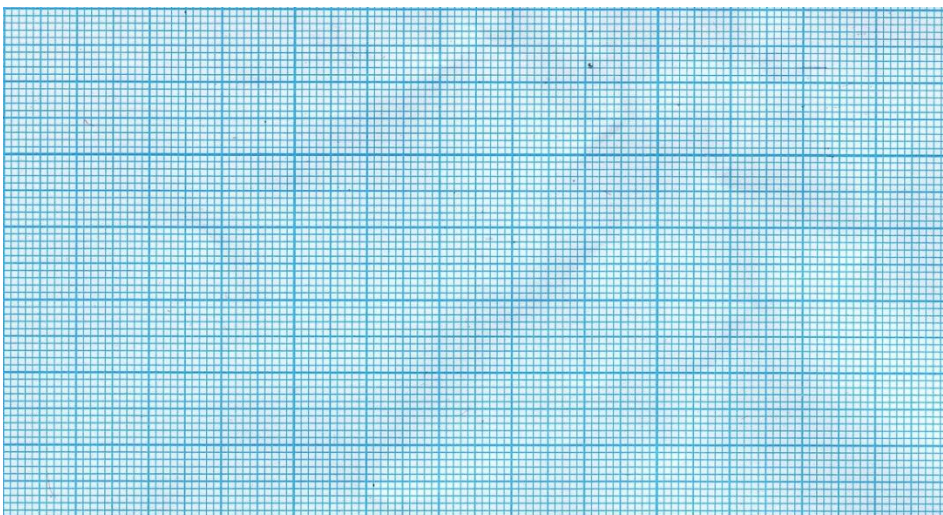
c. Cas d'objets et d'images à l'infini

Exercice : Un objet AB est à l'infini et est vu sous un angle α (diamètre apparent objet). On observe son image à travers une lentille convergente. Faire un schéma et représenter le chemin de 2 rayons lumineux issus de B. Comment peut-on observer A'B' ?



Quelle est la relation entre α (diamètre apparent objet) et A'B' la dimension de l'image ? On supposera les angles suffisamment petits pour pouvoir considérer que $\tan \alpha \approx \alpha$.
Si un astre est vu sous 1,0 minute d'angle que vaut $\overline{A'B'}$? Donnée : $f' = 1,0 \text{ m}$.

Reprendre ces questions pour une lentille divergente.

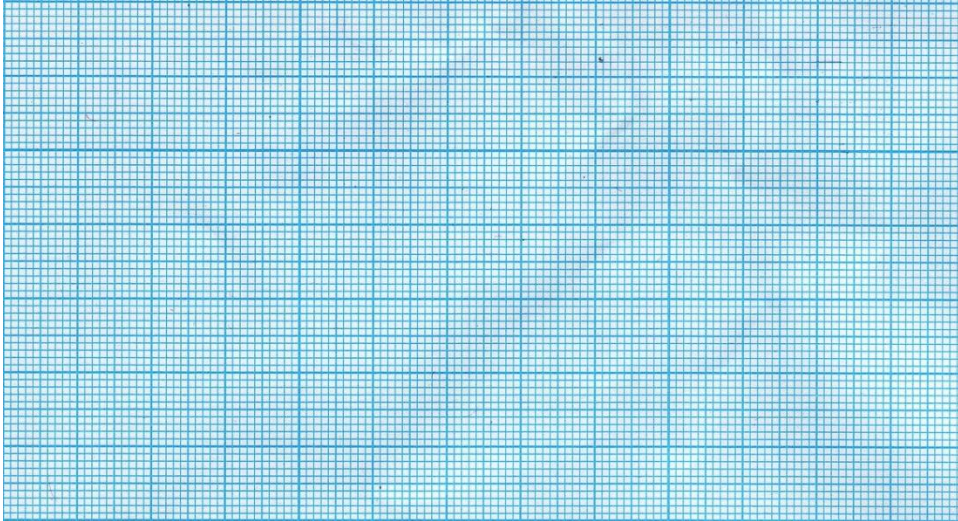


6. Relations de conjugaison de position et de grandissement pour une lentille mince

Relations de conjugaison de position :

Relations de conjugaison de grandissement :

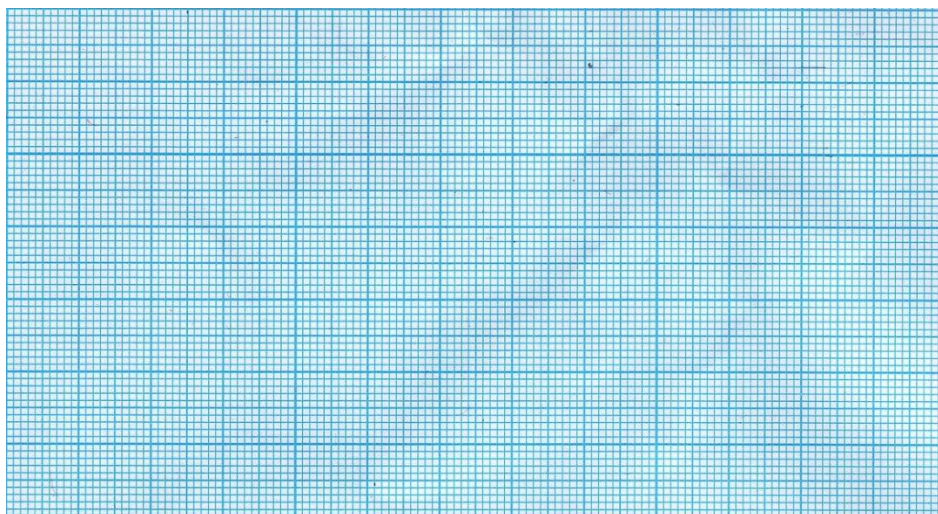
a. Relations de conjugaison et de grandissement avec origine aux foyers F et F' : relations de Newton



Relation de grandissement de Newton :

Relation de conjugaison de Newton :

b. Relations de conjugaison et de grandissement avec origine au centre O : relations de Descartes



Relation de grandissement de Descartes :

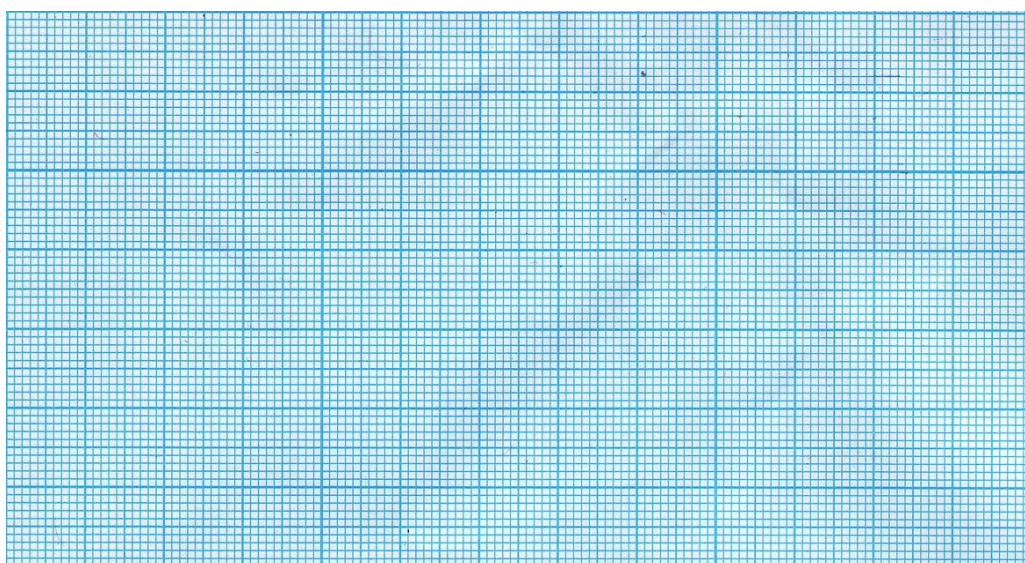
Relation de conjugaison de Descartes :

Tableau récapitulatif	Relation de grandissement	Relation de conjugaison
<i>Descartes (O)</i>		
<i>Newton (F et F')</i>		

c. Exercice d'application

On place un objet AB de hauteur 1cm à 2 cm devant une lentille CV de distance focale $f' = 5$ cm.

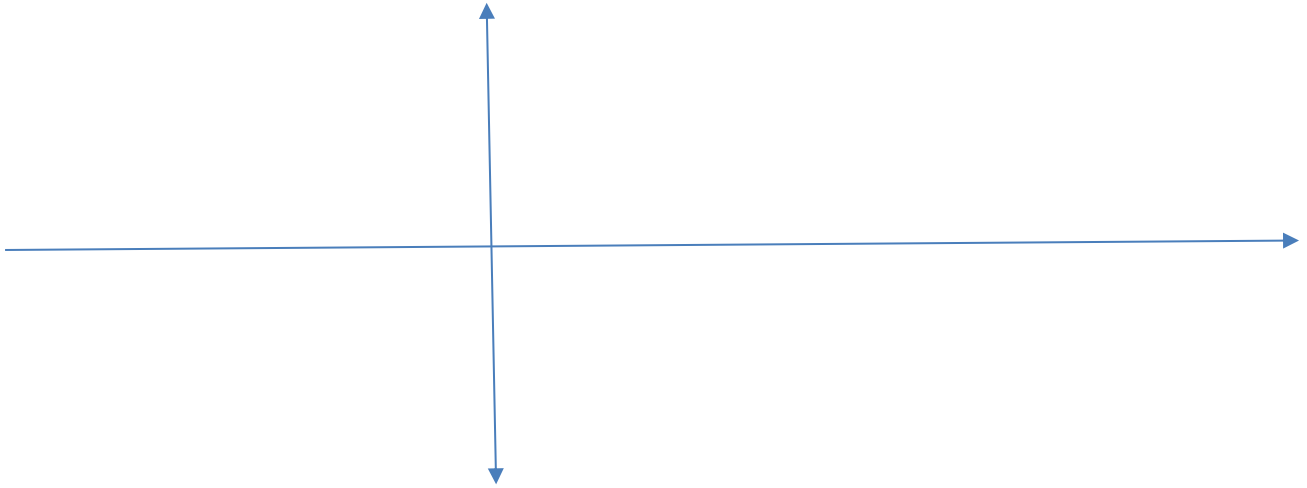
- Déterminer par le calcul la position, la nature et la dimension de l'image A'B'.
- Retrouver les résultats par construction des rayons lumineux.



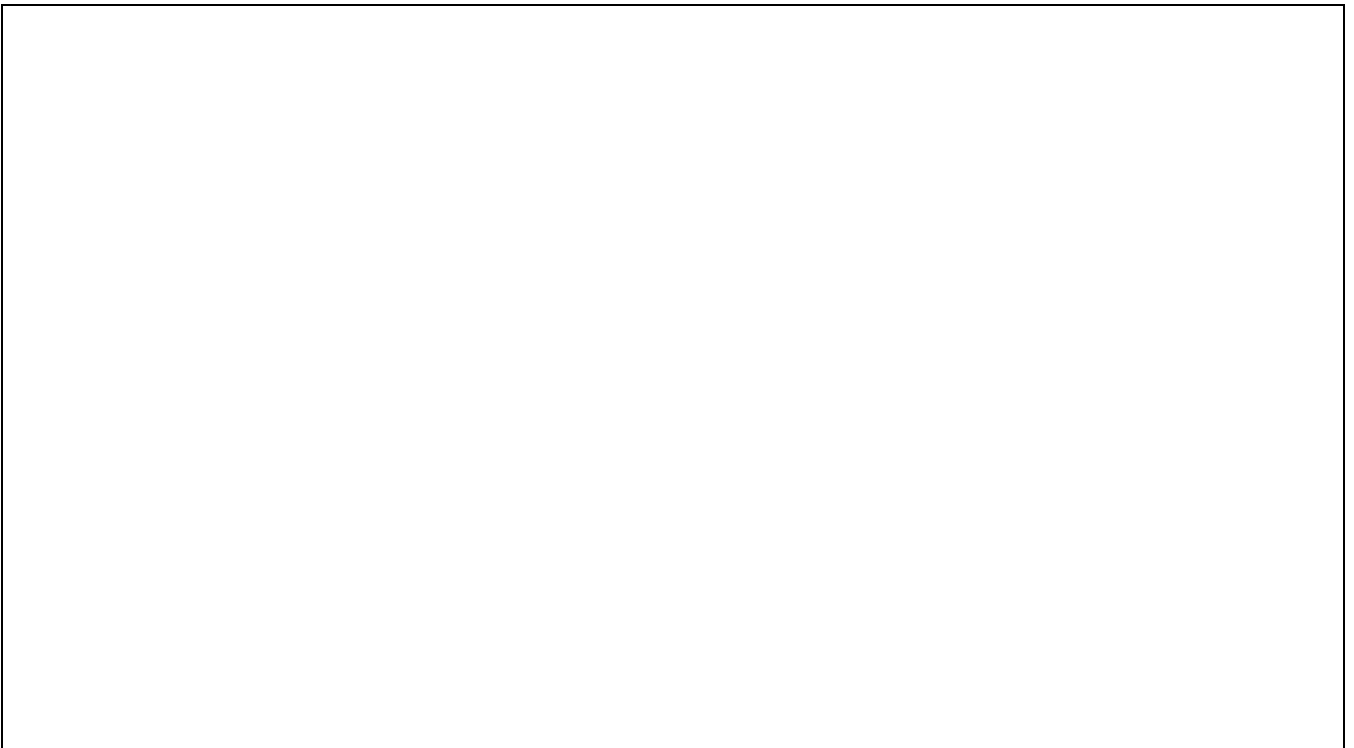
7. Projection d'une image par une lentille

À quelle condition pourra-t-on obtenir une image nette d'un objet AB sur un écran positionné à une distance D de AB ?

- On ne pourra obtenir une image réelle à partir d'un objet réel qu'avec une lentille
- Soit D , la distance entre l'objet et l'écran (AA')



8. Cas de 2 lentilles accolées





Un peu d'histoire :

La lunette astronomique fut inventée au début du XVII^e siècle **par Hans Lippershey (hollandais) en 1608**. Cet instrument permit des **découvertes majeures** : les satellites de Jupiter, les phases de Vénus, les reliefs de la Lune et une vision plus précise de la Voie Lactée. Ces observations confirmaient **l'héliocentrisme copernicien**. Toutefois, la lunette présente des limites techniques, notamment les aberrations chromatiques et la difficulté d'agrandir les lentilles. De nos jours, les télescopes à miroirs dominent la recherche scientifique, tandis que la lunette reste prisée des astronomes amateurs pour sa simplicité.



Une lunette astronomique est un instrument d'optique, permettant d'observer à l'œil des objets très éloignés en les grossissant. Il s'agit d'un système optique composé de deux entités distinctes :

- un objectif (côté objet), par lequel entre la lumière : c'est un dispositif à plusieurs lentilles, modélisable par une unique lentille convergente (L_1) de grande focale f_1' de l'ordre de grandeur de 1 m pour une lunette amateur
- un oculaire (côté œil), par lequel sort la lumière : dispositif modélisable par une unique lentille convergente (L_2) de petite focale $f_2' \sim 1$ cm.

L'image A_1B_1 de l'objet par l'objectif est appelée image intermédiaire, elle sert d'objet pour l'oculaire. On note symboliquement :

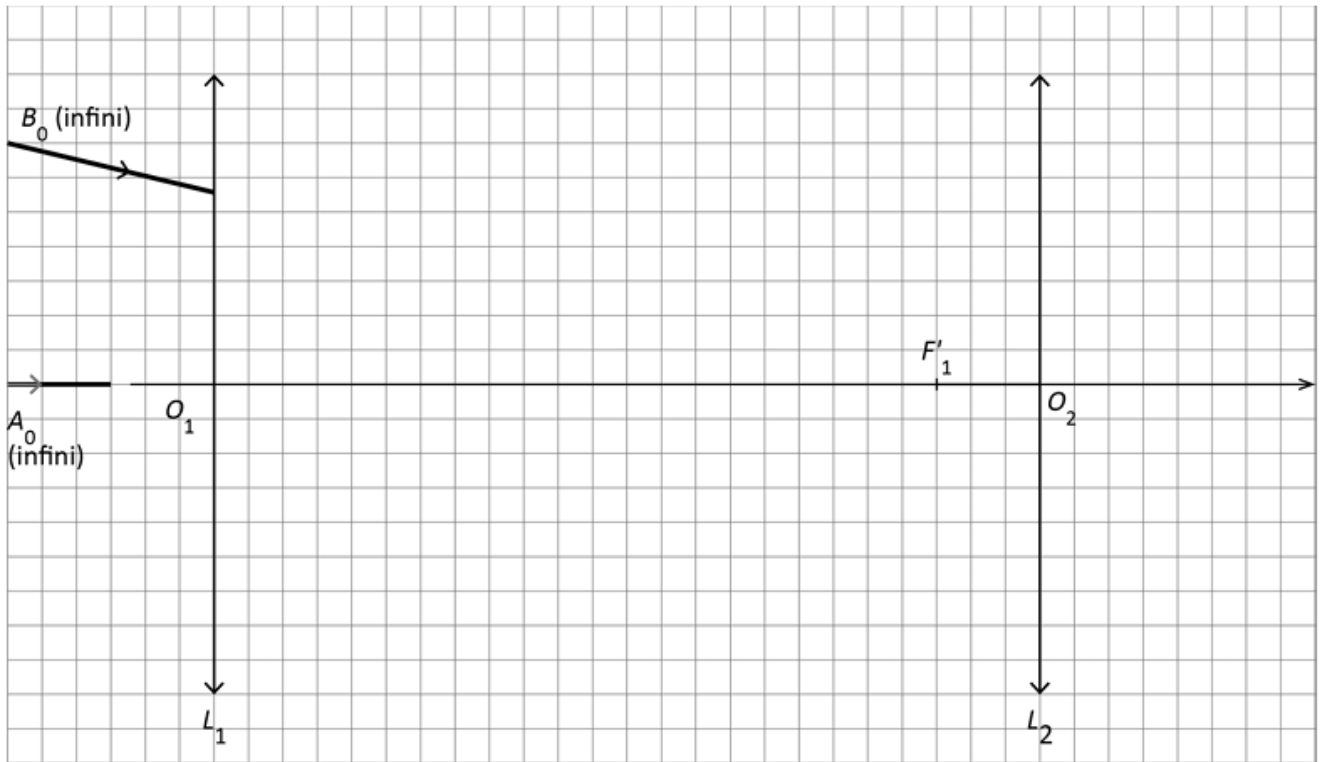
$$A_0 \infty B_0 \infty \rightarrow A_1 B_1 \rightarrow A_2 B_2$$

Pour alléger les constructions de rayons, ceux issus d'une extrémité de l'objet sont très souvent supposés parfaitement parallèles à l'axe optique. Il ne reste à tracer que les rayons issus de l'autre extrémité.

Étude de la lunette

- 1- Déterminer la distance devant séparer les deux lentilles L_1 et L_2 lors d'une observation pour un œil emmétrope qui n'accommode pas.

2- Représenter la marche des rayons dans la lunette sur la figure ci-dessous.



3- La lunette est un système afocal, qu'est-ce que cela signifie ?

4- Le grossissement de la lunette est défini comme le rapport entre le diamètre apparent de l'astre observé avec et sans lunette. L'exprimer en fonction des focales de l'objectif et de l'oculaire. Analyser son signe.

5- Quel est l'encombrement de la lunette ?

6- Déterminer la position du cercle oculaire

https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/instruments/lunette_astro.php

Définition : Le cercle oculaire est l'image de l'objectif à travers l'oculaire, il correspond à la section la plus étroite du faisceau sortant de l'oculaire, c'est donc l'endroit où l'on positionne l'œil pour capter un maximum de lumière.

♥ À retenir

Une lunette astronomique est un instrument **afocal** : elle forme une image à l'infini d'un objet à l'infini. Le plan focal image de l'objectif est donc confondu avec le plan focal objet de l'oculaire : $F_1' \equiv F_2$.

Son grossissement est défini comme le rapport des diamètres apparents avec et sans lunette, il s'exprime en fonction des focales des lentilles par :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = - \frac{f'_{obj}}{f'_{oc}}$$

Le grossissement est négatif : l'image donnée par la lunette est renversée.

En pratique : Réglage de la lunette

https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/instruments/reglage_lunette.php

Pour régler une lunette astronomique, on se sert du réticule (de la croix) placée entre les deux lentilles.

- On règle l'oculaire de sorte à observer le réticule net sans accommodation.

→ réticule en F_2

- On règle ensuite l'objectif de sorte à voir A_2B_2 net, ce qui signifie que A_1B_1 est dans le même plan que le réticule donc en F_2 .

Or A_0B_0 est à l'infini, donc son image par L_1 , A_1B_1 , est sur F_1' .

A_1B_1 est sur F_1' et sur F_2 → on a ainsi réglé la lunette de telle sorte que **F_1' soit confondu avec F_2** .

Application 2 : La lunette terrestre (ou lunette de Galilée), 1609

Un an après le brevet déposé par Lippershey pour la lunette astronomique, Galilée met au point la lunette terrestre (dite lunette de Galilée) qui permettait l'observation d'objets lointains sur la surface de la terre (utilisation par les marins en mer par exemple).

Pour l'observation terrestre, il n'était pas facile d'avoir des images renversées, Galilée a eu l'idée d'utiliser un oculaire divergent pour redresser les images.

→ Faire l'étude de la lunette de Galilée sur feuille à part (mêmes questions que pour la lunette astronomique).

Remarque : les autres applications : microscope, viseur, rétroprojecteur... seront vues en TD et/ou TP.