

## TD 2 : FORMATION DES IMAGES

À préparer : Exercices 2, 3, 4, 5 et 9

| Compétences                                                                                                                           | Capacités                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Conditions de l'approximation de Gauss et applications</b><br>Stigmatisme. Miroir plan.<br>Conditions de l'approximation de Gauss. | Construire l'image d'un objet par un miroir plan.<br>Énoncer les conditions de l'approximation de Gauss et ses conséquences.<br>Relier le stigmatisme approché aux caractéristiques d'un détecteur.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Lentilles minces dans l'approximation de Gauss.                                                                                       | Définir les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence.<br>Construire l'image d'un objet située à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux, identifier sa nature réelle ou virtuelle.<br>Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal de Descartes et de Newton.<br>Établir et utiliser la condition de formation de l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente. |
| <b>Modèles de quelques dispositifs optiques</b><br>L'œil.<br>Punctum proximum, punctum remotum.                                       | Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur plan fixe.<br>Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| L'appareil photographique.                                                                                                            | Modéliser l'appareil photographique comme l'association d'une lentille et d'un capteur.<br>Construire géométriquement la profondeur de champ pour un réglage donné.<br>Étudier l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image.                                                                                                                                                                                                          |
| Système optique à plusieurs lentilles.                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

## Exercice 1 : Relation de conjugaison



## Compétences

\*\*\* Capacité : Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal de Descartes et de Newton  
 \*\*\*

Un objet  $AB$ , de taille 1 cm, est placé à une distance  $d = 3,0$  cm en avant d'une lentille mince convergente de centre optique  $O$  et de distance focale  $f' = 5,0$  cm. Déterminer les caractéristiques de l'image  $A'B'$  de  $AB$ .

D'après la relation de Descartes

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} \quad \text{d'où} \quad \overline{OA'} = \frac{f' \overline{OA}}{f' + \overline{OA}} \stackrel{AN}{=} \frac{5 \times -3}{5 - 3} = -7,5 \text{ cm}.$$

Par ailleurs,

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \stackrel{AN}{=} \frac{7,5}{-3} = -2,5.$$

## Exercice 2 : Lentilles accolées



## Compétences

\*\*\* Capacité : Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal de Descartes et de Newton \*\*\*

Montrer que lorsque deux lentilles  $L_1$  et  $L_2$  sont accolées, on obtient un système optique équivalent à une seule lentille  $L$  dont la vergence est la somme des vergences des lentilles accolées :  $V = V_1 + V_2$ . Ce résultat est à retenir et à réutiliser.

Notons  $A$  la position de l'objet sur l'axe optique,  $A_1$  le conjugué de  $A$  par la lentille  $L_1$  et  $A'$  le conjugué de  $A_1$  par la lentille  $L_2$ .  $A'$  est également le conjugué de l'objet  $A$  par le système  $\{L_1 + L_2\}$ . Les lentilles étant accolées, on considère que leurs centres optiques sont confondus c'est-à-dire  $O = O_1 = O_2$ . Écrivons la relation de Descartes pour chacune des lentilles :

$$\begin{aligned} \text{pour } L_1 \quad \frac{1}{f'_1} &= \frac{1}{\overline{OA_1}} - \frac{1}{\overline{OA}} \\ \text{pour } L_2 \quad \frac{1}{f'_2} &= \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA_1}}. \end{aligned}$$

En sommant les deux équations précédentes, il vient

$$\underbrace{\frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2}}_{\substack{\text{primé} \\ f'_{1+2}}} = \cancel{\frac{1}{\overline{OA_1}}} - \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OA'}} - \cancel{\frac{1}{\overline{OA_1}}}$$

On reconnaît la relation de Descartes pour le système  $\{L_1 + L_2\}$ . Par identification, on a ainsi

$$\frac{1}{f'_{1+2}} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} \quad \text{soit} \quad \boxed{V_{tot} = V_1 + V_2}.$$

## Exercice 3 : Montage 4F



## Compétences

\*\*\* Capacité : Établir et utiliser la condition de formation de l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente \*\*\*

Un objet  $AB$  est situé en amont d'une lentille convergente, à une distance égale au double de la distance focale.

1. Où se trouve l'image ? Justifier en utilisant les deux relations de conjugaison.

- D'après la relation de conjugaison de Descartes

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

Or  $\overline{OA} = -2f'$  donc

$$\overline{OA'} = \frac{f' \times -2f'}{f' - 2f'} = 2f'.$$

- D'après la relation de conjugaison de Newton

$$\overline{F'A'} \times \overline{OA} = -(f')^2 \quad \text{soit} \quad \overline{F'A'} = \frac{-(f')^2}{\overline{FA}}.$$

Or l'objet se trouvant à une distance égale au double de la distance focale avant la lentille,  $\overline{FA} = -f'$ . D'après l'équation précédente, on a donc

$$\overline{F'A'} = \frac{-(f')^2}{-f'} = f'.$$

L'image se trouve donc à une distance égale à la focale après le point focal image.

Les deux méthodes sont cohérentes.

2. Justifier l'appellation de montage 4f'.

L'image et l'objet sont donc séparés d'une distance 4f'.

3. Quel est le grandissement ?

$$\boxed{\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \stackrel{AN}{=} -1.}$$

4. Si l'on rapproche légèrement l'objet de la lentille depuis la position précédente, comment l'image se déplace-t-elle ?

**Si  $\overline{OA}$  diminue alors  $-\frac{1}{OA}$  diminue également donc  $\frac{1}{OA'}$  doit augmenter. Ainsi  $\overline{OA'}$  doit diminuer et l'image se rapproche de la lentille.**

5. Même question si on éloigne l'objet.

**Avec le même raisonnement on montre que l'image s'éloigne de la lentille.**

Ce résultat est à retenir et à réutiliser.

## Exercice 4 : Construction

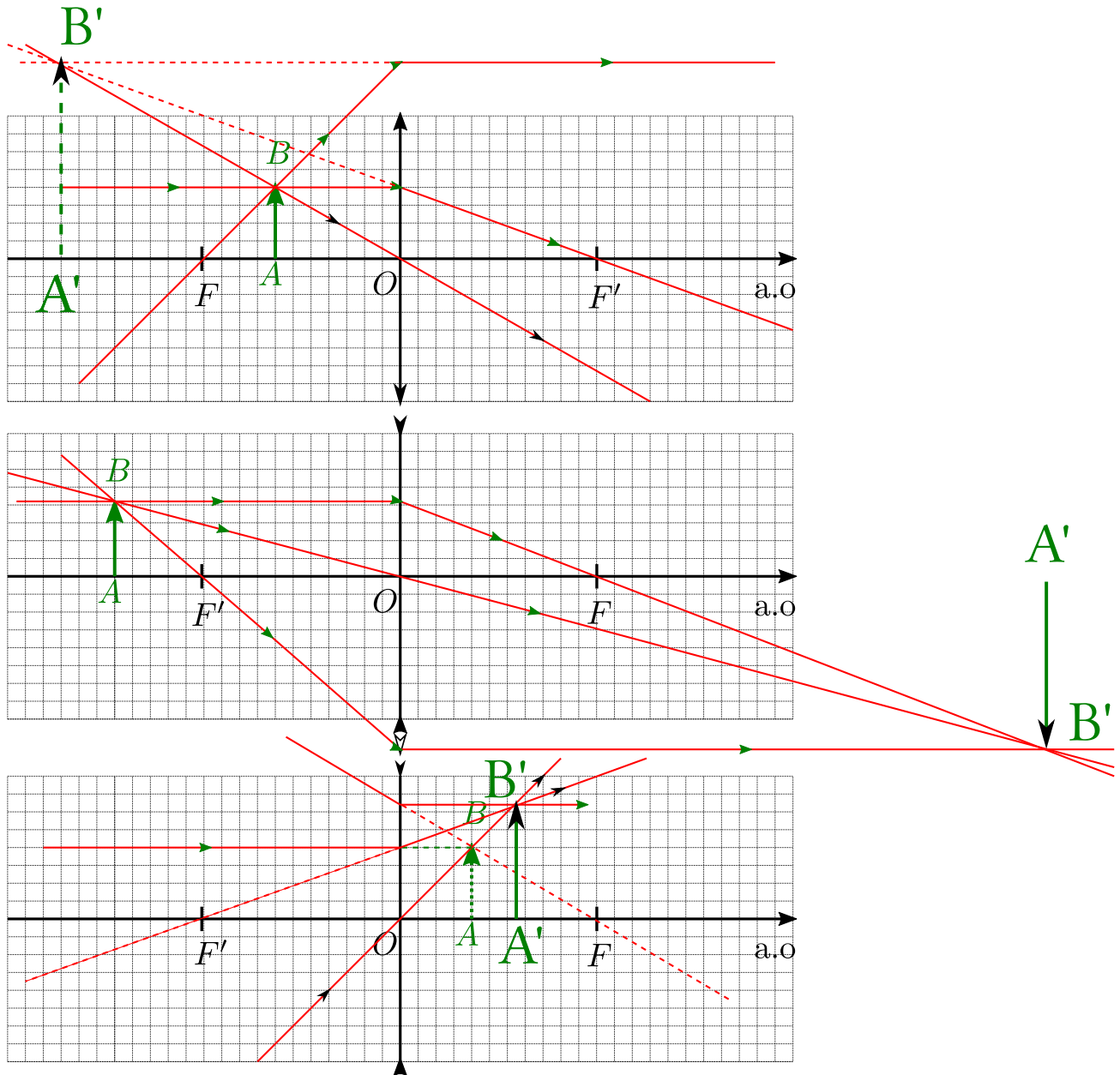


### Compétences

\*\*\* Capacité : Définir les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence \*\*\*

\*\*\* Capacité : Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux, identifier sa nature réelle ou virtuelle \*\*\*

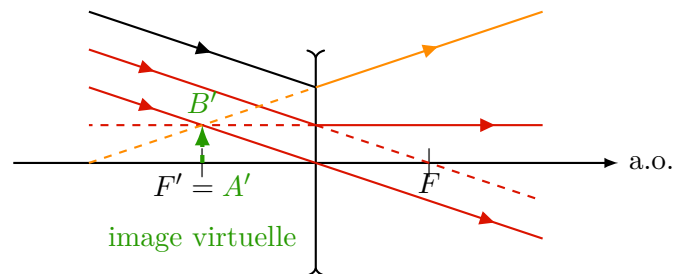
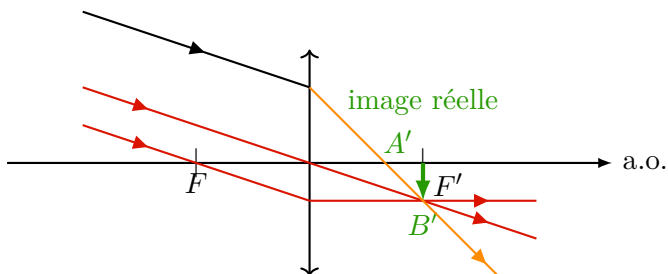
1. Soit un objet  $AB$  situé entre le foyer objet d'une lentille convergente et la lentille elle-même. Construire son image  $A'B'$  sur le schéma ci-après. L'image est-elle réelle ou virtuelle ?
2. Soit un objet  $AB$  réel, perpendiculaire à l'axe optique et placé avant la face d'entrée d'une lentille divergente. Construire son image  $A'B'$  sur le schéma ci-après. L'image est-elle virtuelle ou réelle ?
3. Reprendre la construction pour un objet  $AB$  situé après la lentille divergente, entre le centre optique  $O$  et le foyer objet  $F$ . L'image est-elle virtuelle ou réelle ?

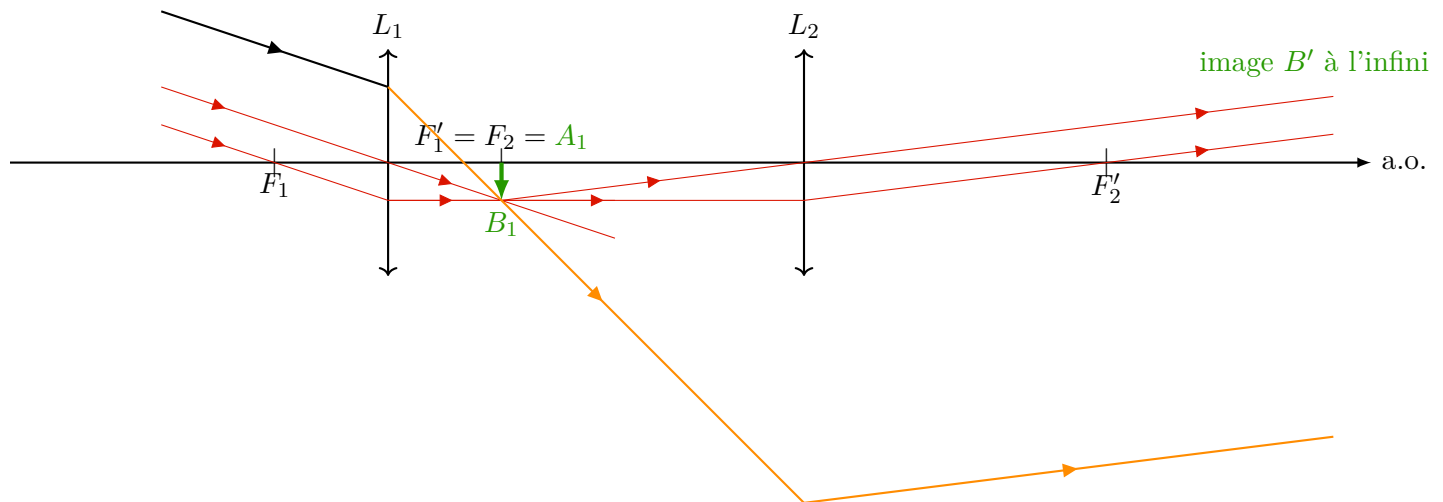


### Exercice 5 : Foyers secondaires



Pour chacune des trois situations suivantes, déterminer la position de l'image.





## Exercice 6 : Autocollimation



### Compétences

\*\*\* Capacité : Stigmatisme. Miroir plan. Construire l'image d'un objet par un miroir plan \*\*\*

\*\*\* Capacité : Construire l'image d'un objet située à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux, identifier sa nature réelle ou virtuelle \*\*\*

On place sur un même support une lentille mince convergente de focale  $f'$  et un miroir plan. On déplace alors l'ensemble de façon à former sur le support de l'objet une image renversée et de même taille que l'objet.

1. Montrer que, dans ce cas, la distance entre le système {lentille + miroir} et l'objet correspond à la focale de la lentille.

Voir TP 1 : Focométrie des lentilles minces.

2. Justifier par une représentation graphique modélisant le trajet des rayons lumineux.

Voir TP 1 : Focométrie des lentilles minces.

## Exercice 7 : Variation de la vergence



### Compétences

\*\*\* Capacité : Punctum proximum, punctum remotum.

Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur plan fixe. Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation \*\*\*

Un œil normal est modélisé par un ensemble lentille  $L$  convergente- plan rétinien séparés d'une distance  $d$  fixe. On note  $V$  la vergence de  $L$ .  $V$  varie du fait de l'accommodation.

1. Lors de l'observation à l'infini, quelle relation peut-on écrire entre  $d$  et la vergence  $V_0$  de l'œil au repos ?

$$V_0 = \frac{1}{d}.$$

2. L'objet se rapproche à distance finie : 1 m puis 25 cm. Déterminer l'augmentation  $\Delta V$  de la vergence dans ces deux cas.

La distance  $\overline{OA'}$  est fixe et égale à  $d$ . Notons  $D$  la distance finie entre l'objet et la lentille. D'après la relation de Descartes

$$V_i = \frac{1}{f'_i} = \frac{1}{d} - \frac{1}{-D_i} \quad \text{soit} \quad \Delta V_i = V_i - V_0 = \frac{1}{d} + \frac{1}{D} - \frac{1}{d} = \frac{1}{D}.$$

Ainsi

$$\text{pour } D_1 = 1 \text{ m} \quad \Delta V_1 \stackrel{AN}{=} \frac{1}{1} = 1 \delta$$

$$\text{pour } D_2 = 25 \text{ cm} \quad \Delta V_1 \stackrel{AN}{=} \frac{1}{25 \times 10^{-2}} = 4 \delta$$

## Exercice 8 : Loupe



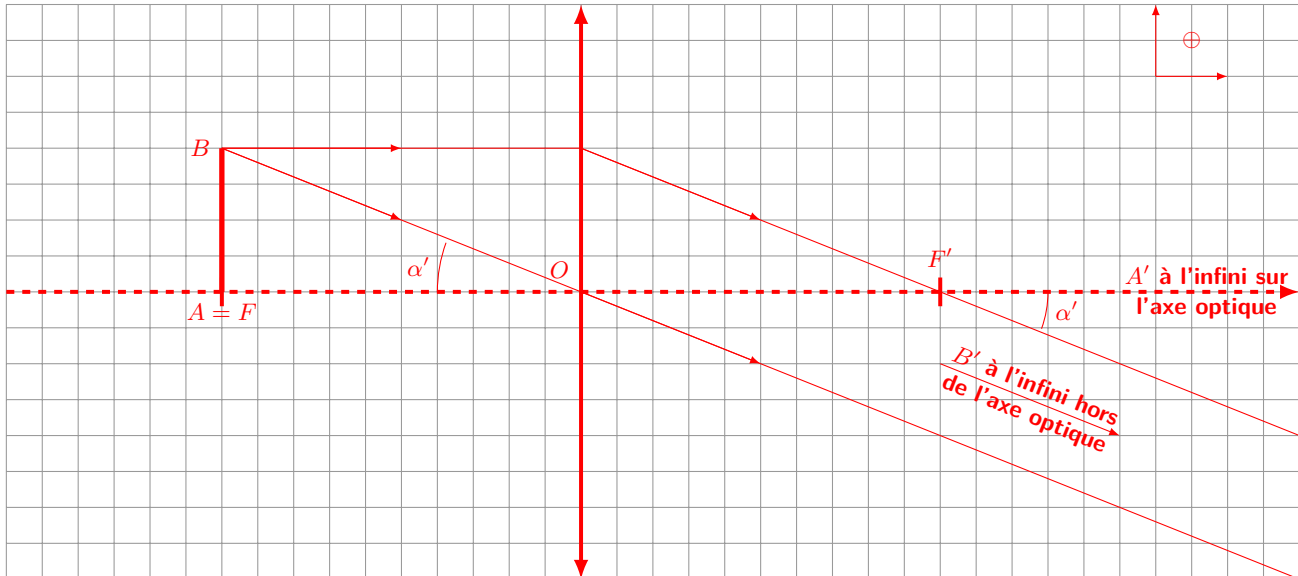
Une loupe est une lentille convergente de distance focale image  $f'$ . On l'utilise pour observer une image agrandie d'un objet à travers la lentille.

1. De quelle nature (réelle/virtuelle) est l'image donnée par la loupe ?

**L'image donnée par la loupe ne peut pas être projetée, elle est virtuelle.**

2. Pour observer l'image de l'objet sans fatigue, où doit-elle se former ? Où doit être placé l'objet par rapport à la lentille pour qu'il en soit ainsi ? Faire un schéma dans cette situation.

**Pour observer l'image de l'objet sans fatigue, elle doit se former à l'infini. Pour cela l'objet doit se trouver dans le plan focal objet de la loupe.**



On définit le grossissement commercial par  $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ , où  $\alpha$  est l'angle sous lequel est vu l'objet à l'œil nu (sans loupe) observé au punctum proximum ( $d_m = 25\text{ cm}$ ), et  $\alpha'$  l'angle sous lequel est vue l'image observée à travers la loupe.

3. (a) Exprimer  $\alpha'$  en fonction de  $f'$  et de  $\overline{AB}$ .  
 (b) Exprimer  $\alpha$  en fonction de  $d_m$  et  $\overline{AB}$  (on s'aidera d'un schéma).  
 (c) Exprimer le grossissement commercial de la loupe en fonction de  $f'$  et  $d_m$ .

Dans  $OAB$  rectangle en  $A$  :  $\tan(\alpha') = \frac{AB}{f'}$

Dans les conditions de Gauss,  $\tan(\alpha') \approx \alpha'$ , ainsi  $\alpha' \approx \frac{AB}{f'}$

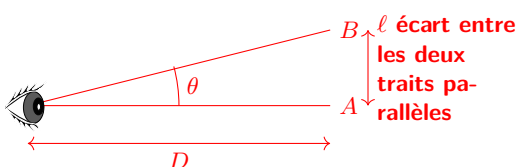
En l'observant à l'œil nu, au PP :  $\tan(\alpha) = \frac{AB}{d_m}$ , avec la même approximation.

Ainsi  $G = \frac{d_m}{f'}$

4. Calculer la valeur du grossissement commercial d'une loupe de vergence  $V = 10\delta$ .

$$G = d_m V = 25 \cdot 10^{-2} \times 10 = 2,5 \quad \triangle \text{attention aux unités !}$$

5. Quel est le pouvoir de résolution de l'œil dans de bonnes conditions d'éclairement ? Déterminer la taille du plus petit objet que peut distinguer un œil normal qui accommode au maximum.



**Le plus petit détail est discernable lorsque l'observation se fait au punctum proximum.**

$$\ell_{\min} = d_m \alpha = 0,0075\text{ cm} = 75\text{ }\mu\text{m}$$

6. Donner la taille du plus petit objet que peut distinguer un œil normal en utilisant la loupe sans accommoder. Conclure.

À travers la loupe, l'image est vue sous l'angle  $\alpha' = G\alpha = G \frac{\ell}{d_m}$ , qui doit être supérieur à  $\varepsilon = 1'$

Ainsi  $\ell > \frac{d_m \varepsilon}{G} = 30 \mu\text{m}$

## Exercice 9 : Lunette de Galilée



Mars est située à une distance variant entre 56 et 160 millions de kilomètres de la Terre. Son diamètre vaut 6800 km. On l'observe au travers d'une lunette de Galilée composée d'un objectif et d'un oculaire.

Ces deux systèmes optiques complexes peuvent être modélisés par deux lentilles minces la première (l'objectif) de focale 1,0 m et la seconde (l'oculaire) de focale  $-2,5 \text{ cm}$ .

1. Où se forme l'image intermédiaire de Mars par l'objectif?

L'image intermédiaire de Mars par l'objectif se forme dans le plan focal image de l'objectif.

2. Où doit se former l'image finale pour pouvoir être observée sans fatigue? Pour cela, où doit alors se trouver l'image intermédiaire de Mars par l'objectif qui joue le rôle d'objet pour l'oculaire?

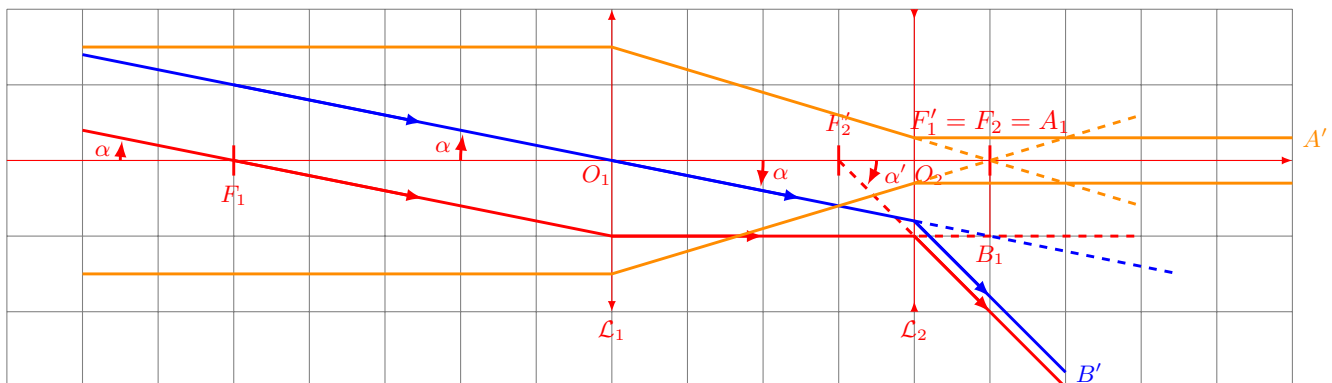
L'image finale doit se former à l'infini pour être observée sans fatigue. Pour cela, l'image intermédiaire doit se former dans le plan focal objet de l'oculaire.

3. En déduire avec quel point le foyer principal objet  $F_{oc}$  de l'oculaire doit coïncider. On réalise dans ce cas là ce qu'on appelle un **système afocal**. Faire un schéma en positionnant les lentilles convenablement (on fera attention au fait que l'oculaire est une lentille divergente!). On ne cherchera pas à faire le schéma à l'échelle.

Ainsi l'image intermédiaire se forme dans le plan focal image de  $\mathcal{L}_1$  et doit se situer dans le plan focal objet de  $\mathcal{L}_2$ , donc le plan focal image de  $\mathcal{L}_1$  doit être confondu avec le plan focal objet de  $\mathcal{L}_2$ .

Mars est assimilé à un objet  $AB$  situé à l'infini, où  $A$  est sur l'axe optique.

4. Faire le tracé de deux rayons lumineux issus de  $B$  à travers la lunette : commencer par celui passant par  $F_1$ , puis un autre au choix. L'image finale apparaît-elle dans le même sens que l'objet pour l'observateur?



On appelle grossissement de la lunette le rapport  $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$  où  $\alpha'$  est le diamètre apparent sous lequel est vue Mars à travers la lunette.

- Indiquer  $\alpha$  et  $\alpha'$  sur le tracé précédent.
- Exprimer  $\alpha$  et  $\alpha'$  en fonction de la taille de l'image intermédiaire et des distances focales de l'objectif  $f'_{obj}$  et de l'oculaire  $f'_{oc}$ .
- Établir l'expression du grossissement en fonction des distances focales de l'objectif  $f'_{obj}$  et de l'oculaire  $f'_{oc}$ .
- Le calculer numériquement.

Dans le triangle  $O_2A_1A_2$  rectangle en  $F_2$  :  $\tan(\alpha') = \frac{\overline{A_1A_2}}{-f'_2} < 0$  ( $f'_2 < 0$ )

Dans le triangle  $O_1A'_1A'_1$  rectangle en  $F'_1$  :  $\tan(\alpha) = \frac{\overline{A_1A_2}}{f'_1} < 0$

Dans les conditions de Gauss, les rayons sont peu inclinés par rapport à l'axe optique, donc  $\theta \ll 1$  rad et  $\alpha' \ll 1$  rad, ainsi  $\tan(\alpha) \approx \alpha$  et de même pour  $\alpha'$ .

Ainsi  $\alpha \approx -\frac{\overline{A_1A_2}}{f'_2}$  et  $\alpha' \approx \frac{\overline{A_1A_2}}{f'_1}$

Le grossissement s'exprime alors selon  $G = -\frac{f'_2}{f'_1} = 40 > 0$

6. On appelle diamètre apparent l'angle sous lequel est vu un objet. Calculer le diamètre apparent  $\alpha$  de la planète Mars lorsqu'elle est observée sans lunette, lorsqu'elle est au plus proche de la Terre.

Est-il possible de voir à l'œil nu la surface de Mars ?

Au plus près de la Terre, on voit Mars à l'œil nu sous l'angle  $\alpha$ , tel que  $\tan(\alpha) = \frac{D_M}{D_{TM}}$ . Or  $\alpha \ll 1$  rad, donc  $\tan \alpha \approx \alpha$ .

Ainsi  $\alpha \approx \frac{D_M}{D_{TM}} = 1,21 \times 10^{-4}$  rad ce qui est inférieur à la limite de résolution angulaire : la surface de Mars n'est pas visible à l'œil nu.

7. Sous quel angle Mars est-elle perçue à travers la lunette lorsqu'elle est au plus proche ? Est-il cette fois-ci possible de distinguer sa surface ?

L'angle sous lequel est vu Mars est  $\alpha' = G \times \alpha = 4,84 \times 10^{-3}$  rad ce qui est distinguable.

## Exercice 10 : Microscope



Un microscope optique est modélisé par deux lentilles minces convergentes : l'objectif, placé du côté de l'objet, et l'oculaire, placé du côté de l'observateur. Il est réglé pour donner une image à l'infini d'un objet réel  $AB$ , perpendiculaire à l'axe optique,  $A$  étant placé sur l'axe, légèrement avant du foyer objet de l'objectif. L'image finale est observée par un œil emmétrope placé au voisinage du foyer image de l'oculaire. On modélise l'objectif par une lentille  $\mathcal{L}_1$  convergente de distance focale image  $f'_1$  et l'oculaire par une lentille  $\mathcal{L}_2$  convergente de distance focale image  $f'_2$ . La notice constructeur précise également l'intervalle optique  $\Delta = \overline{F'_1F'_2} = 16$  cm.

1. Comment placer le foyer principal objet de  $\mathcal{L}_2$  pour que l'image finale se forme à l'infini ?

Faire un schéma du dispositif. Placer un objet  $AB$  en tenant compte du principe de fonctionnement d'un microscope puis tracer la marche de 3 rayons issus de  $B$  en faisant bien apparaître l'image intermédiaire  $\overline{A_1B_1}$ .

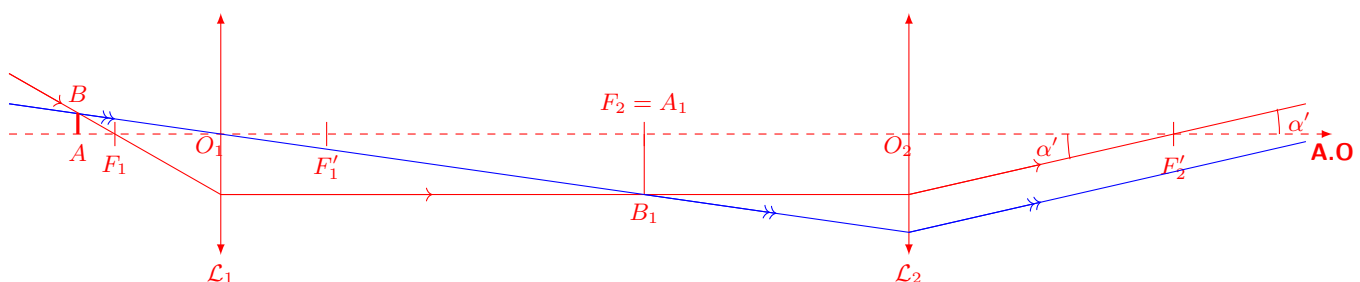
L'image finale doit se former à l'infini pour pouvoir être observée sans fatigue. Ainsi, l'image intermédiaire  $A_1B_1$  de l'objet  $AB$  par la lentille  $\mathcal{L}_1$  doit se former dans le plan focal objet de la lentille de l'oculaire  $\mathcal{L}_2$ .

⚠ ⚠ ⚠ Attention ! Tracés à travers un microscope

— Deux possibilités pour réaliser le tracer :

- placer l'objet juste avant le foyer principal objet de  $\mathcal{L}_1$ , tracer son image par  $\mathcal{L}_1$ , puis positionner la lentille  $\mathcal{L}_2$  pour que son foyer principal objet  $F_2$  soit au niveau de l'image de l'objet par  $\mathcal{L}_1$ .
- ou placer les deux lentilles, partir de l'image finale à l'infini et remonter au tracé de l'objet.

— Toujours commencer par tracer le rayon parallèle à l'axe optique entre les deux lentilles, il peut être entièrement tracé dès le début.

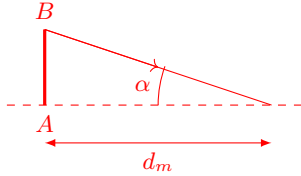


On s'intéresse tout d'abord à l'oculaire seul. L'indication  $\times 10$  portée sur l'oculaire est le grossissement commercial  $G_0 = \frac{\alpha'}{\alpha}$  où  $\alpha$  est l'angle sous lequel on verrait l'objet intermédiaire transverse  $\overline{A_1B_1}$  à l'œil nu lorsqu'il est situé à la distance minimale de vision distincte  $d_m = 20\text{ cm}$  et  $\alpha'$  est l'angle sous lequel on voit l'image à l'infini de  $A_1B_1$  lorsqu'il est placé dans le plan focal objet de l'oculaire seul.

2. Déterminer la distance focale  $f'_2$  de l'oculaire.

**Lorsque l'objet est vu à l'œil nu :**

**Un schéma est absolument nécessaire pour établir la relation entre  $\alpha$ ,  $AB$  et  $d_m$  ! mais  $O_1$  n'intervient nullement ici.**



$$\tan(\alpha) = \frac{A_1B_1}{d_m}$$

**Or  $A_1B_1 \ll d_m$  (cf ODG des objets observés au microscope), donc  $\alpha \ll 1\text{ rad}$ , ainsi  $\tan(\alpha) \approx \alpha$**

$$\text{Ainsi } \alpha \approx \frac{A_1B_1}{d_m}$$

**L'angle  $\alpha'$  est l'angle sous lequel est vue l'image à travers le microscope :**

$$\tan(\alpha') = \frac{A_1B_1}{f'_2}$$

**Or  $\alpha' \ll 1\text{ rad}$ ,  $\alpha' \approx \frac{A_1B_1}{f'_2}$**

$$\text{Ainsi } G_0 = \frac{d_m}{f'_2}$$

$$\text{Ainsi } f'_2 = \frac{d_m}{G_0}$$

$$\text{A.N. } f'_2 = 2,0\text{ cm}$$

On s'intéresse maintenant à l'objectif seul, modélisé par une lentille  $\mathcal{L}_1$  de distance focale image  $f'_1$ . La valeur absolue du grandissement  $\gamma_1 = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}}$  de l'objet  $AB$  par l'objectif est indiquée à  $\times 40$ .

3. Déterminer la distance focale  $f'_1$  de l'objectif.

**D'après la relation de grandissement avec origine aux foyers  $\gamma_1 = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{F'_1F_2}}{-f'_1}$ , soit** 
$$f'_1 = -\frac{\overline{F'_1F_2}}{\gamma_1} = -\frac{\Delta}{\gamma_1}$$

**A.N. avec  $\gamma_1 = -40 < 0$  (l'image  $A_1B_1$  est inversée par rapport à l'objet  $AB$ ),  $f'_1 = 4,0\text{ mm}$**

Pour finir, on s'intéresse au microscope dans son ensemble.

4. Calculer la distance  $\overline{O_1A}$  à laquelle positionner l'objet pour que l'image intermédiaire  $\overline{A_1B_1}$  obtenue par l'objectif donne une image finale à l'infini.

**D'après la relation de conjugaison de Newton pour  $\mathcal{L}_1$  :  $\overline{F_1A} \times \overline{F'_1A_1} = -f_1'^2$ , avec  $A_1 = F_2$ , on en déduit que** 
$$\overline{F_1A} = -\frac{f_1'^2}{\Delta} = -\frac{\Delta}{\gamma_1^2}$$

**A.N. :  $\overline{F_1A} = -0,10\text{ mm}$**

**Soit  $\overline{O_1A} = \overline{O_1F_1} + \overline{F_1A} = -f'_1 + \overline{F_1A} = -4,1\text{ mm}$**

**Cela peut également être déterminé à l'aide de la relation de conjugaison de Descartes, d'une manière similaire.**

5. Calculer dans ce cas le grossissement commercial du microscope en entier, défini comme étant  $G_c = \frac{\alpha'}{\alpha''}$ , avec  $\alpha''$  l'angle sous lequel on voit l'objet  $AB$  à l'œil nu placé au punctum proximum.

**En reprenant le même raisonnement que précédemment :  $\tan(\alpha'') = \frac{AB}{d_m} \approx \alpha''$**

**L'expression de  $\alpha'$  n'a pas changé (puisque'il a toujours la même définition !).**

**Ainsi  $G_c = \frac{A_1B_1}{f'_2} \times \frac{d_m}{AB}$ , or  $\frac{A_1B_1}{AB} = |\gamma_1|$  et  $\frac{d_m}{f'_2} = G_0$**

**Ainsi  $G_c = |\gamma_1| \times G_0 = 400$**