② Lunettes astronomiques commerciales

1. Pour la lunette du modèle 1, les grossissements possibles sont $\frac{600}{20} = 30$, $\frac{600}{12} = 50$ et $\frac{600}{4} = 150$ (sans tenir compte des chiffres significatifs).
Pour la lunette du modèle 2, l'unique grossissement possible est $\frac{1\,000}{25} = 40$.

2. a. Avec les oculaires du doc. 2, on obtiendrait les grossissements :

$\frac{1\,000}{6} = 167$ $\frac{1000}{9} = 111$ $\frac{1\,000}{12{,}5} = 80$

$\frac{1\,000}{18} = 56$ $\frac{1\,000}{25} = 40$ $\frac{1\,000}{32} = 31$

b. Les tailles différentes viennent du fait que, quelle que soit leur distance focale, leur plan focal objet doit se trouver au même endroit pour que la lunette soit afocale. Ils sont donc montés sur des cylindres de sorte que la lentille soit à une distance du plan contenant l'image intermédiaire égale à leur distance focale.
3. a. D'après le théorème de Thalès et le doc. 3, le diamètre d du cercle oculaire et le diamètre D de l'objectif sont liés par la relation $\frac{d}{D} = \frac{f_2'}{f_1'}$ d'où l'on tire bien $d = \frac{D}{G}$ avec $G = \frac{f_1'}{f_2'}$ d'après le cours.

b. Le diamètre de la pupille d'un œil est voisin de 5 mm.

c. Le diamètre du cercle oculaire doit être inférieur au diamètre de la pupille de l'œil pour que toute la lumière sortant de la lunette entre dans l'œil et que l'œil n'ait pas à se déplacer latéralement pour l'observation. Pour les deux lunettes du doc. 1, on calcule le quotient du diamètre de l'objectif par le grossissement, pour chaque grossissement.
• Pour la lunette du modèle 1, on obtient :

$\frac{50}{30} = 1{,}7$ mm $\frac{50}{50} = 1{,}0$ mm $\frac{50}{150} = 0{,}33$ mm

• Pour la lunette du modèle 2, on obtient :

$\frac{102}{40} = 2{,}6$ mm

Tous ces cercles sont plus petits que la pupille de l'œil.

Bilan

• Les grossissements des deux lunettes présentées sont de même ordre de grandeur, alors que la lunette du modèle 2 est deux fois plus chère que celle du modèle 1. Le critère du grossissement n'est donc pas le seul critère de prix.
• Il vaut mieux un objectif de diamètre élevé, car plus de lumière est collectée et donc l'image obtenue est plus lumineuse. Mais comme le diamètre du cercle oculaire ne peut pas être aussi élevé que l'on veut sinon le cercle oculaire ne tient pas dans la pupille de l'œil, cela implique que le grossissement ait une valeur minimale.

Exercices

*Exercices **1** à **13** corrigés à la fin du manuel de l'élève.*

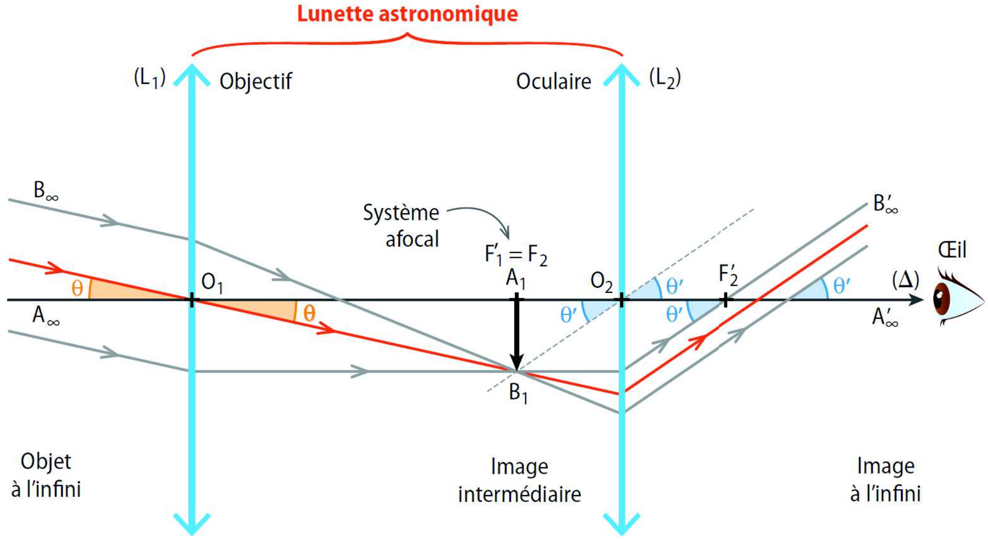
*Exercices **14** et **15** corrigés dans le manuel de l'élève.*

16 a. Pour passer de 0,6 seconde d'arc à une minute d'arc (soit 60 secondes d'arc), le grossissement minimal doit être de $\frac{60}{0{,}6} = 1 \times 10^2$.

b. L'objectif a une distance focale de 35 pieds, soit $35 \times 313{,}5 = 1{,}1 \times 10^4$ mm, soit 11 m. Pour que le grossissement soit de 100, il faut que l'oculaire ait une distance focale maximale de 11 cm. Avec un oculaire de 8 cm, le grossissement est supérieur et l'observation est possible.

17 1. a. La lentille nommée objectif est celle qui est du côté de l'objet, donc des étoiles.
b. L'autre lentille est nommée oculaire.
c. L'image A_1B_1 de l'objet à l'infini par l'objectif est dans le plan focal image de l'objectif, donc à distance f_1' de son centre optique.
d. Pour que l'œil ne se fatigue pas pendant l'observation, il ne doit pas accommoder, donc observer l'infini. L'image intermédiaire A_1B_1 doit donc être placée dans le plan focal objet de l'oculaire, donc à distance de celui-ci égale à f_2'. Un tel système est qualifié d'afocal.
e. La longueur du tube en carton utilisé pour construire la lunette doit donc être $L = f_1' + f_2'$.

2. a. et b.



c. Le grossissement de la lunette est $G = \frac{\theta'}{\theta}$.

d. D'après le schéma, $\tan\theta = \frac{A_1B_1}{f_1'}$ et $\tan\theta' = \frac{A_1B_1}{f_2'}$.

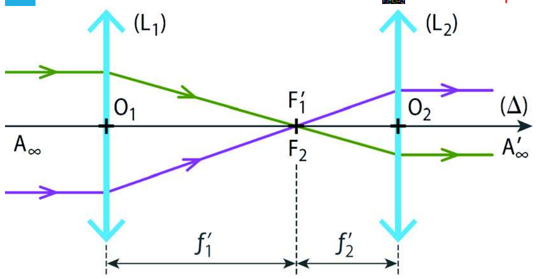
D'après l'approximation des petits angles, on obtient donc $G = \frac{\theta'}{\theta} \approx \frac{\tan\theta'}{\tan\theta} = \frac{f_1'}{f_2'} = \frac{C_2}{C_1}$.

3. a. Pour réaliser une lunette qui grossit 25 fois, il faut un couple de lentilles ayant un rapport de vergences de 25, donc ici 50,0 δ pour l'oculaire et 2,0 δ pour l'objectif.
b. Les distances focales des lentilles sont 2,00 cm et 50,0 cm, donc l'encombrement est 52 cm.
c. Si on utilise cette lunette dans le mauvais sens, on observe une diminution de taille par un facteur 25.

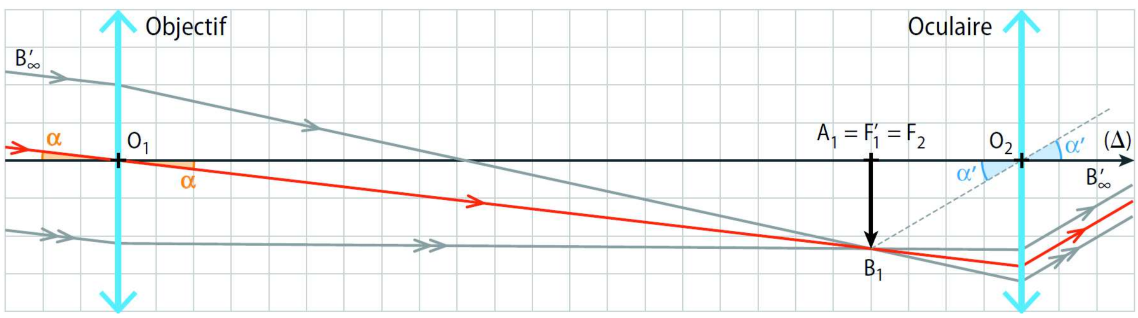
4. Le diamètre apparent de Mars sans la lunette est $\alpha = \frac{d}{D}$.

Avec la lunette, il est $\alpha' = \frac{Gd}{D} = 25 \times \frac{6{,}8 \times 10^3}{78 \times 10^6}$, voisin de 2×10^{-3} rad, donc supérieur à la limite de résolution de l'œil humain.

18 Schéma et démonstration : Cours 2b p. 495 (manuel de l'élève)



19



20 Les grossissements disponibles sont :

$\frac{500}{6{,}0} = 83$ $\frac{500}{9{,}0} = 56$ $\frac{500}{15} = 33$ $\frac{500}{20} = 25$

*Exercice **21** corrigé à la fin du manuel de l'élève.*

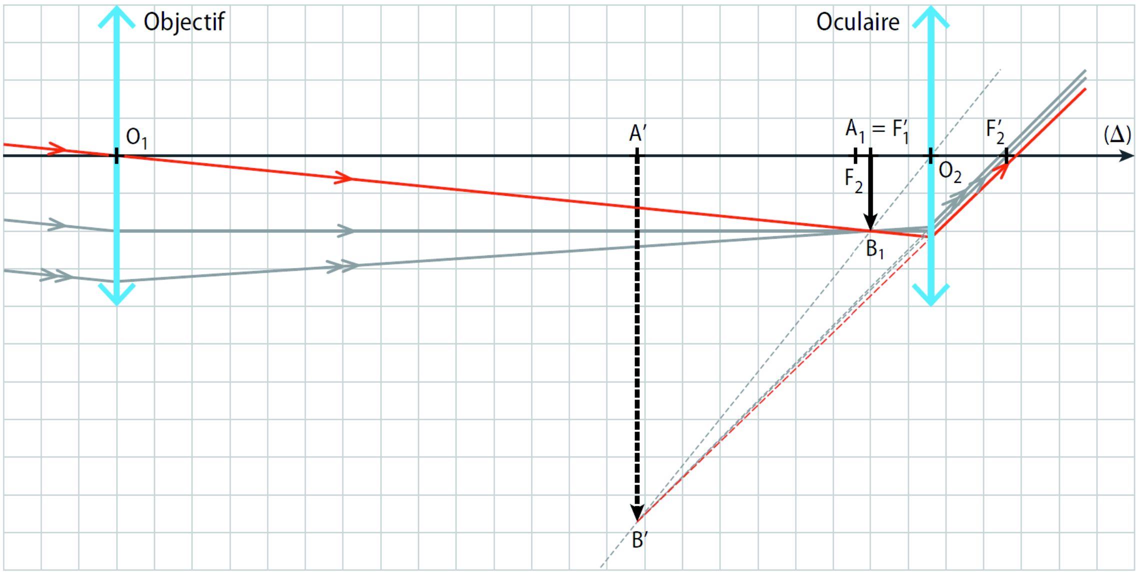
22

G	400	20	1 000	250
C_1 (en δ)	0,50	2,0	0,0500	0,400
C_2 (en δ)	$2{,}0 \times 10^2$	40,0	50,0	100,0

23 a. À l'aide de la photographie, on évalue la longueur de cette lunette à 20 m environ.
b. Si le grossissement est 2 250, alors la distance focale de l'oculaire est 2 250 fois plus petite que celle de l'objectif, donc leur somme est environ égale à la distance focale de l'objectif. La longueur de la lunette est donc approximativement la distance focale de son objectif.
c. Si la distance focale de l'objectif est voisine de $f_1' = 20$ m, alors pour un grossissement $G = 2\,250$, la distance focale de l'oculaire est voisine de $f_2' = \dfrac{f_1'}{G} = 9$ mm.

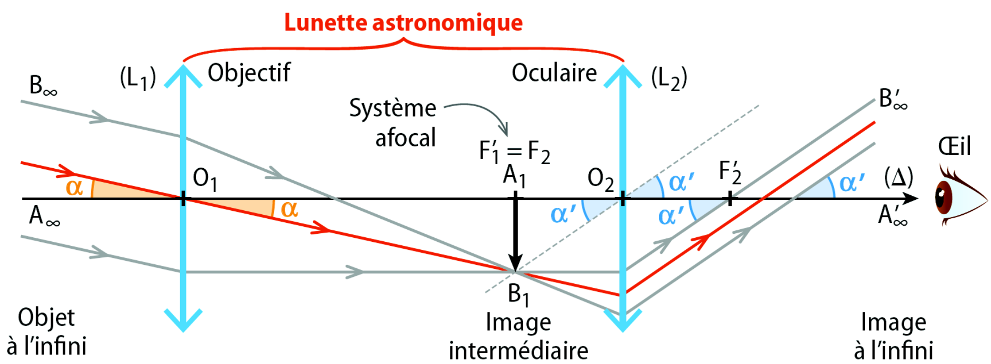
24 1. a. La distance focale de l'oculaire à utiliser est $f_2' = \dfrac{f_1'}{G} = 10$ cm. Il faut le positionner de sorte que l'image intermédiaire soit dans son plan focal objet.
b. On vérifie un grossissement de 5,0.
2. Si la distance objectif-oculaire est trop courte, l'image intermédiaire est entre le foyer objet et le centre optique de l'oculaire, donc l'image définitive n'est pas à l'infini mais est virtuelle, à distance finie.

25 a. Pour que cette lunette soit afocale, il faut que $d = f_1' + f_2' = 55{,}0$ cm.
Ainsi, le plan focal image de l'objectif est confondu avec le plan focal objet de l'oculaire.
b. L'image intermédiaire est entre le plan focal objet de l'oculaire et l'oculaire, donc l'image définitive est une image virtuelle.
c. Schéma à l'échelle $\dfrac{1}{5}$:

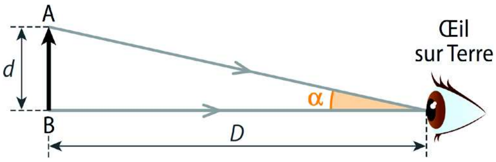


d. L'œil, d'après la construction, voit l'image à environ 20 cm derrière l'oculaire.
C'est proche, mais il la voit nette. Si elle était plus près, il ne la verrait pas nette.

26 1. a.



D'après le schéma, dans le triangle $O_1A_1B_1$, on voit que $\tan\alpha = \dfrac{A_1B_1}{f_1'}$.



b. À l'aide du schéma, on a $\tan\alpha = \dfrac{d}{D}$ soit, d'après l'approximation des petits angles, $\alpha = \dfrac{d}{D}$.

c. On a $\alpha = \dfrac{A_1B_1}{f_1'} = \dfrac{d}{D}$ d'où $d = \dfrac{A_1B_1 D}{f_1'}$.

2. a. Une estimation (grossière) de la mesure de D et de son incertitude-type peut être réalisée à l'aide des valeurs extrêmes possibles : entre $3{,}567 \times 10^5 - 6\,378 - 1\,737 = 3{,}486 \times 10^5$ km et $4{,}063 \times 10^5 - 6\,378 - 1\,737 = 3{,}982 \times 10^5$ km.
La valeur médiane de l'intervalle est $3{,}734 \times 10^5$ km, l'incertitude-type est 2×10^4 km.
On écrit donc $D = (3{,}7 \pm 0{,}2) \times 10^5$ km.

b. On calcule $d = \dfrac{A_1B_1 D}{f_1'} = \dfrac{253 \times 10^{-6} \times 3{,}7 \times 10^8}{60 \times 10^{-2}} = 1{,}56 \times 10^5$ m, soit 156 km.

c. On calcule :

$$u(d) = d\sqrt{\left(\frac{u(f_1')}{f_1'}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(A_1B_1)}{A_1B_1}\right)^2} = 156 \times \sqrt{\left(\frac{1}{60}\right)^2 + \left(\frac{0{,}2}{3{,}7}\right)^2 + \left(\frac{2}{253}\right)^2} = 9 \text{ km}$$

On en déduit finalement $d = 156$ km ± 9 km.

d. Le quotient $\dfrac{|d - d_{\text{réf}}|}{u(d)} = \dfrac{156 - 150}{9} = 0{,}7$.
Il est inférieur à 2, donc la qualité de la mesure est satisfaisante.

27 1. a. La lunette est afocale, donc $\overline{O_2O_1} = -(f_1' + f_2') = -1{,}10$ m.
La relation de conjugaison de Descartes s'écrit : $-\dfrac{1}{\overline{O_2O_1}} + \dfrac{1}{\overline{O_2O_1'}} = \dfrac{1}{f_2'}$ d'où $\dfrac{1}{\overline{O_2O_1'}} = \dfrac{1}{f_2'} + \dfrac{1}{\overline{O_2O_1}}$

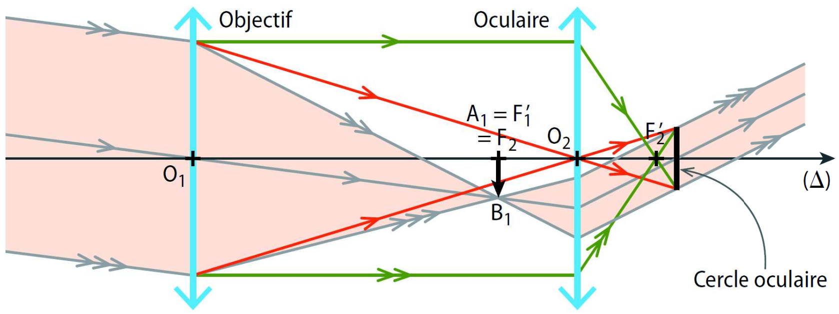
puis $\overline{O_2O_1'} = \dfrac{1}{\frac{1}{f_2'} + \frac{1}{\overline{O_2O_1}}} = \dfrac{1}{\frac{1}{0{,}100} + \frac{1}{-1{,}10}} = 0{,}11$ m.

b. Le dégagement oculaire vaut 11 cm. C'est peut-être un peu élevé, on a tendance naturellement à placer l'œil plus près de l'oculaire.

2. a. D'après les expressions du grandissement :
$\dfrac{\overline{O_1'I'}}{\overline{O_1I}} = \dfrac{\overline{O_2O_1'}}{\overline{O_2O_1}}$ d'où $\overline{O_1'I'} = \overline{O_1I} \times \dfrac{\overline{O_2O_1'}}{\overline{O_2O_1}} = 10 \times \dfrac{0{,}11}{-1{,}10} = -1{,}0$ cm.
On a donc $O_1'I' = 1{,}0$ cm. Le diamètre du cercle oculaire est donc 2,0 cm.

b. Dans l'idéal, le diamètre du cercle oculaire devrait être inférieur au diamètre de la pupille de l'œil, pour que toute la lumière sortant de la lunette entre dans l'œil. Ce n'est pas le cas ici, la pupille de l'œil faisant environ 5 mm.

3. a. et b.



Tous les rayons sortant de l'oculaire passent à l'intérieur du cercle oculaire, c'est là que le faisceau est le plus étroit.

28 1. a. L'image A_1B_1 donnée par (L_1) se trouve dans le plan focal image de (L_1).
b. et c. Voir figure 1, ci-après.
2. a. Voir figure 2 ci-après.
On trace d'abord le rayon allant de B_1 à B_2 sans être dévié : il passe par le centre optique O_2. Cela montre que O_2 est le milieu de [A_1A_2]. Ensuite, on trace les rayons arrivant ou émergeant parallèles à l'axe optique : ils positionnent les foyers. On voit ainsi que $A_1F_2 = F_2O_2 = O_2F_2' = F_2'A_2$ donc les distances A_1O et OA_2 sont bien égales à $2f_2'$.
b. Voir figure 1 ci-après. La lentille (L_2) sert à redresser l'image.
3. a. Pour une observation sans fatigue, l'image intermédiaire A_2B_2 doit se trouver dans le plan focal objet de (L_3), donc (L_3) doit se trouver à la distance $f_3' = 2{,}0$ cm de A_2B_2.
b. et c. Voir figure 1 ci-après.

Figure 1

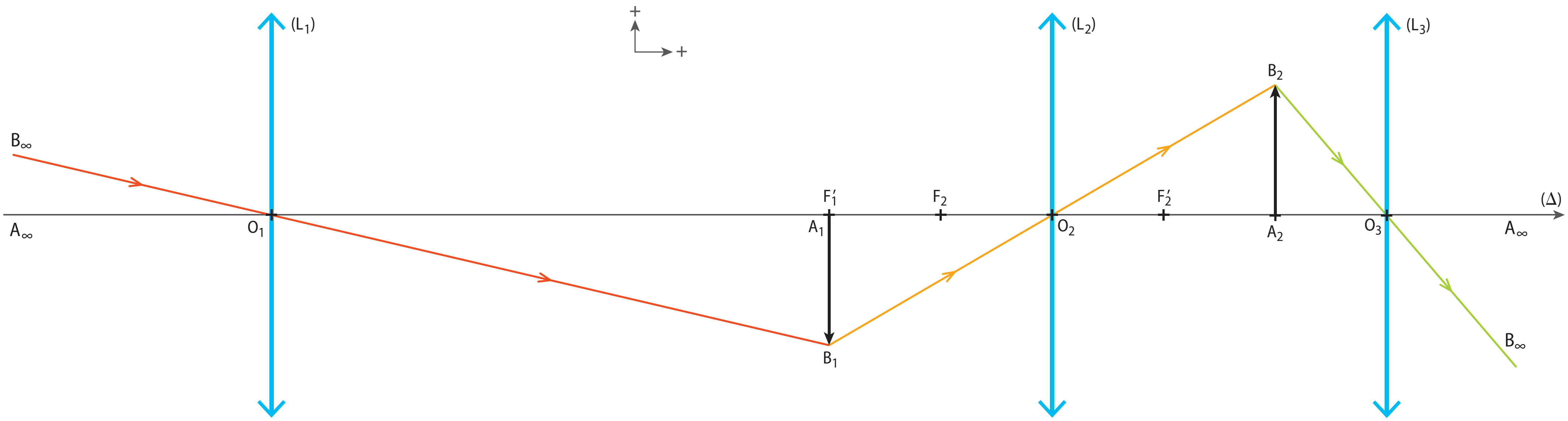
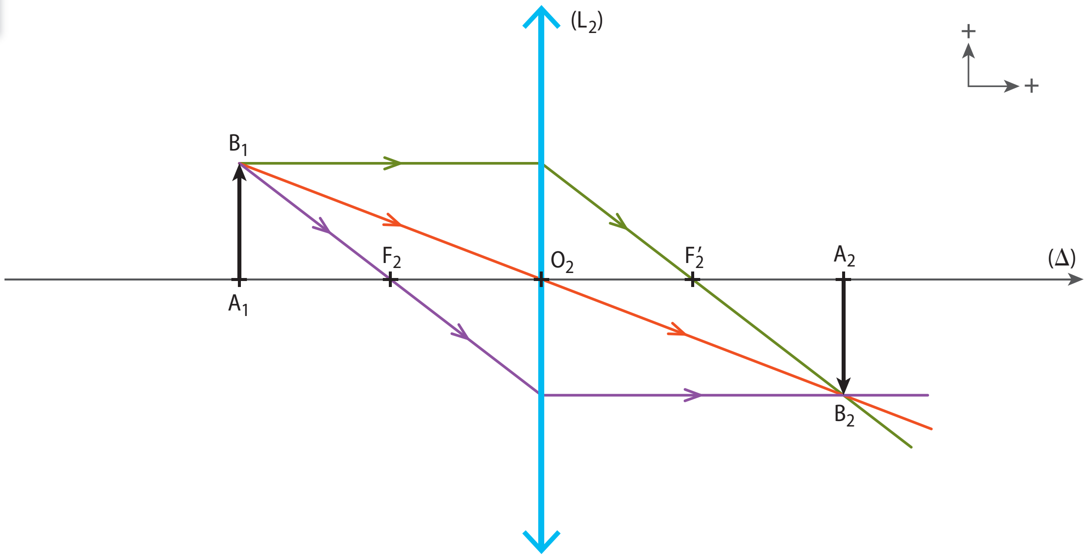


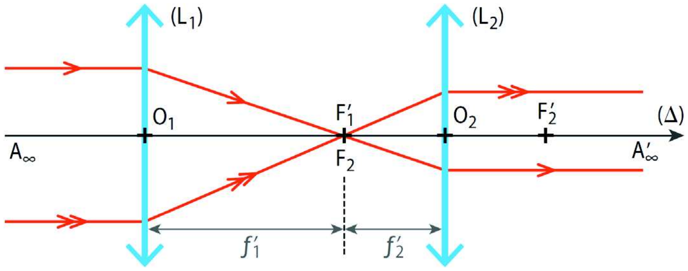
Figure 2



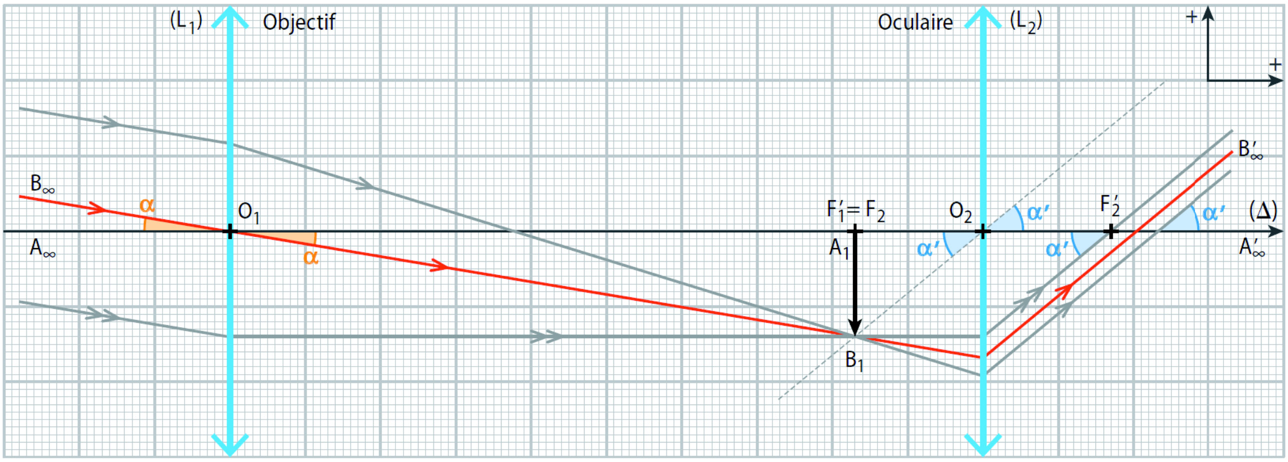
Exercice **29** *corrigé à l'adresse* hatier-clic.fr/pct502

30 1.1. Cette lunette est afocale vu que le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer objet de l'oculaire (puisque la distance entre les centres optiques est la somme des distances focales), donc l'image par la lunette d'un objet à l'infini est envoyée à l'infini.

1.2.



2.1.



2.2. D'après l'approximation des petits angles : $\alpha \approx \tan\alpha = \dfrac{A_1B_1}{f'_1}$

3.1. La lunette étant afocale, l'image A'B' est à l'infini car l'image intermédiaire est dans le plan focal objet de l'oculaire.
3.2. Voir schéma.

4.1. D'après l'approximation des petits angles : $\alpha' \approx \tan\alpha' = \dfrac{A_1B_1}{f'_2}$

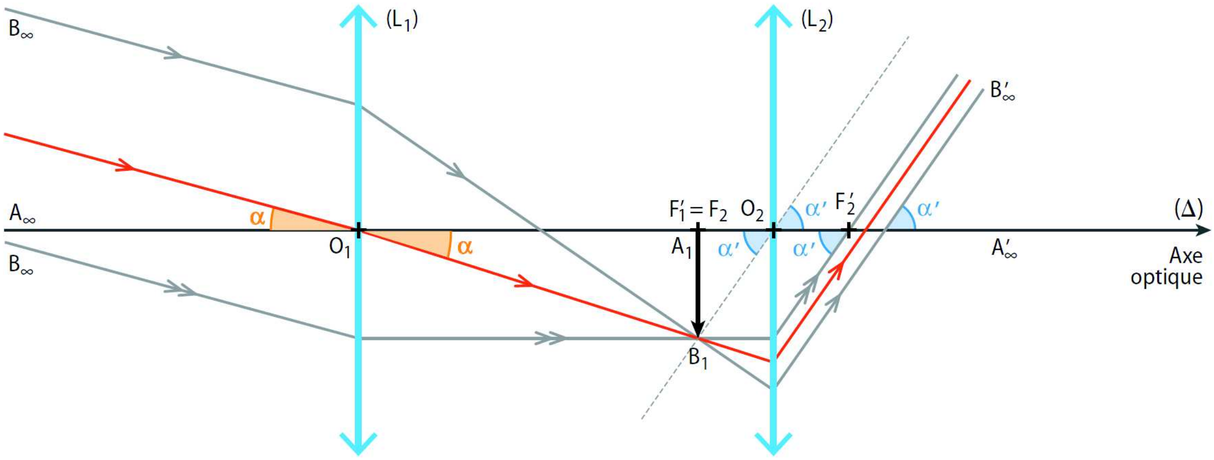
4.2. Par définition : $G = \dfrac{\alpha'}{\alpha}$

On en déduit : $G = \dfrac{\frac{A_1B_1}{f'_2}}{\frac{A_1B_1}{f'_1}} = \dfrac{f'_1}{f'_2} = \dfrac{6{,}80}{4{,}0 \times 10^{-2}} = 1{,}7 \times 10^2$

5.1. Le diamètre apparent de la nébuleuse à l'œil nu est $\alpha = \dfrac{D}{L} = \dfrac{1{,}3}{2\,600} = 5{,}0 \times 10^{-4}$ rad, supérieur à la limite de résolution de l'œil, donc on devrait pouvoir la voir à l'œil nu.
5.2. Si la nébuleuse M57 n'est pas observable à l'œil nu, c'est peut-être parce que l'œil n'en reçoit pas assez de lumière pour qu'elle soit distinguée parmi les autres objets lumineux du ciel. La lunette collecte plus de lumière que l'œil vu que le diamètre de l'objectif est plus grand que celui de l'œil. C'est l'intérêt d'avoir des objectifs très grands : collecter plus de lumière pour avoir des images plus lumineuses.
5.3. Le diamètre apparent de cette nébuleuse vue à travers la lunette de l'observatoire de Harvard est :
$\alpha' = G\alpha = 1{,}7 \times 10^2 \times 5{,}0 \times 10^{-4} = 8{,}5 \times 10^{-2}$ rad

31 A.1.1. L'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB est formée dans le plan focal image de l'objectif, à la distance f_1' de celui-ci.

1.2.



1.3. La taille de A_1B_1 est $A_1B_1 = f_1'\alpha = 8{,}40$ mm.

2.1. A_1B_1 doit être dans le plan focal objet de l'oculaire pour que l'image A'B' soit rejetée à l'infini.

2.2. Le foyer objet F_2 de l'oculaire doit donc être confondu avec le au foyer image F_1' de l'objectif pour que la lunette soit afocale.

3. Voir schéma.

4. Le diamètre apparent image α' est l'angle sous lequel on voit l'objet à travers la lunette.
Voir schéma.

Il vaut $\alpha' = \dfrac{A_1B_1}{f_2'} = 0{,}42$ rad.

5. Le grossissement de cette lunette est donc : $G = \dfrac{\alpha'}{\alpha} = 45$.

B.1. $\overline{O_2A'} = \overline{O_2F_2'} + \overline{F_2'A'} = 30 + 2{,}0 = 32$ cm

2. D'après la relation de conjugaison : $-\dfrac{1}{\overline{O_2A_1}} + \dfrac{1}{\overline{O_2A'}} = \dfrac{1}{f_2'}$ d'où $\dfrac{1}{\overline{O_2A_1}} = \dfrac{1}{\overline{O_2A'}} - \dfrac{1}{f_2'}$

Puis $\overline{O_2A_1} = \dfrac{1}{\frac{1}{\overline{O_2A'}} - \frac{1}{f_2'}} = \dfrac{1}{\frac{1}{32} - \frac{1}{2{,}0}} = -2{,}1$ cm

On a éloigné l'oculaire de l'objectif pour observer l'image du Soleil sur l'écran puisqu'avant cette opération, on avait $\overline{O_2A_1} = -f_2' = -2{,}0$ cm.

3. Par proportion, le diamètre de la tache solaire est : $d = \dfrac{d'D}{D'} = 6 \times 10^4$ km