QUELQUES INSTRUMENTS D'OPTIQUE - corrigé des exercices

I. Télescope

1.a. • Dans le cas du miroir divergent du dispositif de la question (2), on obtient :

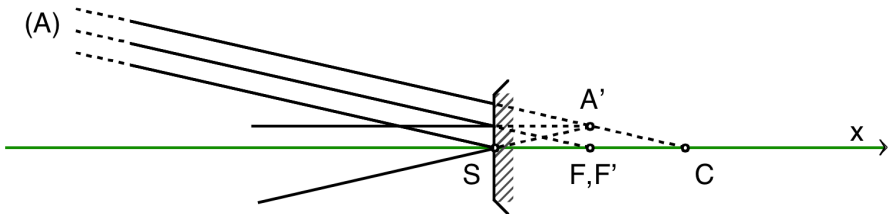
$\overline{S_2F_2'} = \frac{1}{2}\,\overline{S_2C_2}$; $f_2' = -\overline{S_2F_2'} = -\frac{R_2}{2} < 0$ et $v_2 = -\frac{2}{R_2} = -0{,}4479\ \delta$ (l'unité est la "dioptrie").

1.b. ◊ remarque : pour qu'un objet centré sur l'axe, situé à l'infini, soit vu sous un angle $\alpha \neq 0$ il faut que sa grandeur (notée par exemple h) soit infinie, sinon : $\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{h}{2\,x} = \frac{h}{\infty} = 0$; en réalité (dans la mesure où le dispositif étudié est un télescope), on considère une étoile suffisamment éloignée pour qu'on puisse considérer $x \approx \infty$, mais non strictement "à l'infini" (sa visibilité nécessite alors en outre que h soit "très grand", c'est à dire non négligeable en comparaison de x considéré comme "quasi infini").

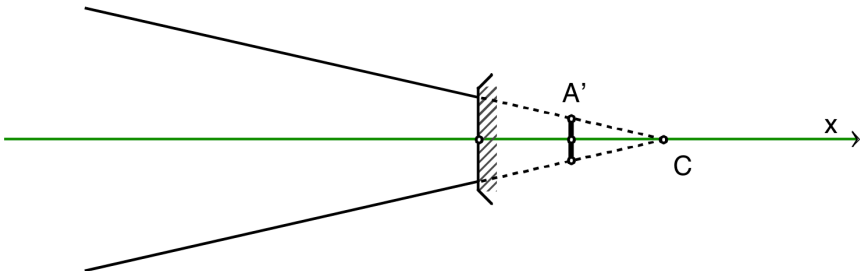
• Pour un point A "à l'infini" vu sous un angle $\frac{\alpha}{2}$ (sur le bord de l'étoile observée), on peut considérer que tous les rayons provenant de ce point sont "parallèles" et se réfléchissent en se recoupant (virtuellement) dans le plan focal image (en un foyer secondaire) ; l'image est donc virtuelle.

• Pour construire cette image, on peut tracer (deux rayons peuvent suffire, mais le troisième peut indiquer la précision graphique) :

◊ le rayon incident passant (virtuellement) par le foyer objet F est réfléchi parallèle à l'axe ;
◊ le rayon incident passant par le sommet S est réfléchi symétriquement par rapport à l'axe ;
◊ le rayon passant (virtuellement) par le centre C est réfléchi sans déviation.



• Pour reconstituer l'image de l'objet, une fois qu'on a mis en évidence le plan focal dans lequel elle se forme, il suffit de reconstituer celle des deux bords (symétriques). Après avoir expliqué le principe du tracé (comme ci-dessus), le mieux est alors (pour ne pas surcharger) de représenter de façon simplifiée uniquement les rayons passant virtuellement par C (non déviés).



• En notant h' la taille de l'image, on en déduit en particulier : $\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{h'}{2\,f}$ et donc (compte tenu du fait que α est forcément petit) : $h' \approx \alpha\, f$. Pour l'objet de la question (2.b), on obtient ainsi : $h' = 21{,}6\ \mu\text{m}$ (et on peut remarquer que l'image n'est pas renversée).

2.a. • L'image finale A'' est l'image par M_2 du point A' image par M_1 ; or, pour un objet A situé à l'infini sur l'axe, A' est au foyer image F_1' ; c'est-à-dire que : $x_1' = \overline{S_1A'} = \overline{S_1F_1'} = f_1 = -\frac{R_1}{2} = -9{,}986\ \text{m}$ (valeur négative car il s'agit d'un miroir convergent, avec F_1' au milieu de C_1S_1 donc à gauche de S_1). On en déduit ainsi : $x_2 = \overline{S_2A'} = \overline{S_2S_1} + \overline{S_1A'} = -1{,}802\ \text{m}$.

• D'après la relation de conjugaison : $\frac{1}{x_2'}+\frac{1}{x_2}=\frac{1}{f_2'}$ avec ici : $f_2'=\overline{S_2F_2'}=-\frac{R_2}{2}=-2{,}232\ \mathrm{m}$ (valeur négative, bien que le miroir soit divergent, car ce dernier est en sens inverse). L'image est donc le point A'' de l'axe tel que : $\overline{S_2A''}=x_2'=\frac{x_2\,f_2'}{x_2-f_2'}=9{,}345\ \mathrm{m}$; ceci correspond à $\overline{S_1A''}=\overline{S_2A''}-\overline{S_2S_1}=1{,}161\ \mathrm{m}$.

2.b. • Par analogie avec la question (1.b), l'image de l'objet "à l'infini" par le miroir S_1 est dans le plan focal contenant F_1' et sa taille est : $h'=\alpha\,f_1=-96{,}8\ \mu\mathrm{m}$ (il s'agit d'une image réelle renversée).
• D'après la question (2.a), l'image qui en est donnée par le miroir S_2 est centrée en A'' et sa taille h'' est alors déterminée par la relation vérifiée par le grandissement : $\gamma_2=\frac{h''}{h'}=-\frac{\overline{S_2A''}}{\overline{S_2A'}}=-\frac{x_2'}{x_2}$, c'est-à-dire : $h''=-h'\,\frac{x_2'}{x_2}=-502\ \mu\mathrm{m}$ (il s'agit d'une image réelle renversée).

2.c. • Si on suppose que le système de deux miroirs est équivalent à une lentille mince L_e , alors l'image d'un objet A , à l'infini sur l'axe, se trouve dans le plan focal image de celle-ci ; c'est-à-dire que son foyer image est $F_e'=A''$.
• Par ailleurs, en considérant que les rayons passant par le centre optique ne sont pas déviés, on trouve que la taille de l'image doit être h'' telle que : $\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)=-\frac{h''}{2\,f_e'}$ (le raisonnement est analogue à celui effectué précédemment pour un miroir) ; c'est-à-dire en pratique : $h''=-\alpha\,f_e'$ d'où la distance focale image équivalente : $f_e'=-\frac{h''}{\alpha}=51{,}79\ \mathrm{m}$ (il s'agit d'une lentille convergente).
• Le centre optique serait donc en O_e tel que : $\overline{O_eF_e'}=\overline{O_eA''}=f_e'$ ainsi $\overline{O_eS_1}=f_e'-\overline{S_1A''}=50{,}63\ \mathrm{m}$ (dimension d'une "lunette" gigantesque).

3.a. • Le respect des conditions de Gauss est imposé par le stigmatisme approximatif des miroirs (et des lentilles) sphériques ; non pas parce que leur sphéricité est approximative, mais parce que la forme sphérique, même parfaite, n'est pas la forme exactement adaptée à ce qu'on veut obtenir. Ceci a l'inconvénient de limiter la dimension utile permettant de capter la lumière, d'où une difficulté inévitable pour détecter les étoiles très lointaines, forcément vues peu lumineuses par éloignement.
• L'avantage d'utiliser des miroirs de formes plus adaptées est justement d'obtenir un stigmatisme satisfaisant y compris pour les rayons arrivant loin de l'axe optique : avec des miroirs plus grands on capte ainsi plus de lumière.

3.b. • La "lunette de Galilée" est constituée d'une façon analogue d'un assemblage d'une lentille convergente et d'une lentille divergente. Le principal avantage de ce type d'assemblage est de réduire nettement l'encombrement (dans l'exemple étudié précédemment, le télescope mesure $\approx 20\ \mathrm{m}$ et équivaut à une "lunette" d'environ $50\ \mathrm{m}$).
• Par contre le réglage est différent puisque la lunette de Galilée donne une image à l'infini (le réglage utilisé ici est d'un certain point de vue équivalent à celui d'un téléobjectif).
• L'avantage à utiliser des miroirs est la précision : non seulement la réalisation d'une lentille impose d'usiner avec grande précision deux faces (au lieu d'une pour un miroir), mais surtout la lumière traversant la lentille est perturbée par les inévitables inhomogénéités du verre (difficulté inexistante pour un miroir puisque la lumière ne passe pas au travers).
• On peut citer aussi le problème de la transparence du verre, qui n'est pas parfaite (d'où perte de luminosité), d'autant plus qu'une grande lentille est forcément épaisse ; en outre, l'épaisseur d'une grande lentille augmente considérablement les risques de cassure lors du refroidissement du verre (après moulage, avant l'usinage final des surfaces, il faut refroidir très progressivement : en plusieurs semaines).
◊ remarque : ceci suppose qu'on place la "couche" réfléchissante des miroirs "directement" sur la surface (et non pas sur la face arrière d'une vitre, comme c'est le cas pour les miroirs usuels, pour des raisons de protection contre l'usure).
• Enfin, l'indice et la transparence du verre dépendent de la longueur d'onde, ce qui augmente la difficulté pour pouvoir travailler à toutes les longueurs d'onde (si possible y compris U.V. et infrarouge).