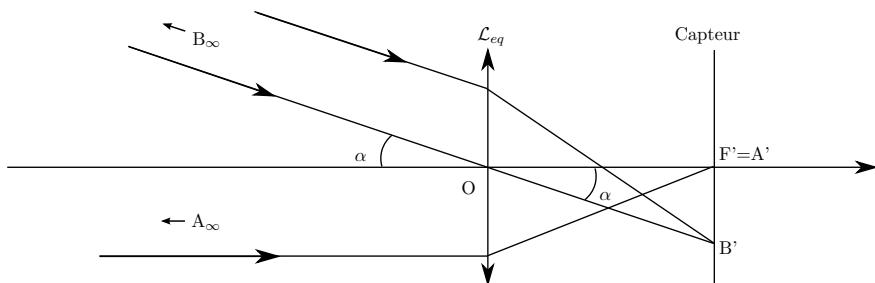


Optique géométrique

d'après CCP MP 2011

I. Objectif assimilé à une simple lentille mince

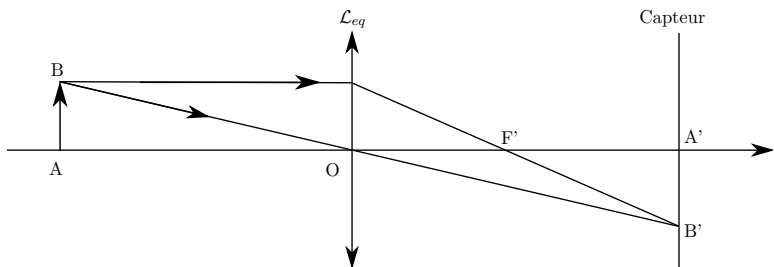
- Théorème de Pythagore : $d = \sqrt{l^2 + L^2} = 43 \text{ mm}$.
- L'image A' est déterminée par l'intersection du rayon confondu avec l'axe optique et d'un rayon parallèle à cet axe, émergent par le foyer image F' . Il peut aussi être trouvé par la propriété d'aplanétisme après avoir trouvé B' .
L'image B' est un foyer image secondaire dont la position est obtenue grâce au rayon passant O qui est non dévié.



- L'angle n'étant pas orienté, on a $A'B' = f'_{eq} \tan \alpha$.
- L'image a une taille maximale $A'B' = \frac{d}{2}$ donc

$$2 \times \alpha_{max} = 2 \arctan \left(\frac{d}{2f'_{eq}} \right) = 2 \arctan \left(\frac{\sqrt{l^2 + L^2}}{2f'_{eq}} \right) = 0,82 \text{ rad} = 47^\circ.$$

- Etant donné que l'objet se rapproche, l'image s'éloigne (se voit sur la construction ou sur une relation de conjugaison). Donc il faut **déplacer l'objectif vers l'objet** (l'éloigner du capteur).



- La relation de conjugaison de Descartes s'écrit

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'_{eq}} \Leftrightarrow \frac{1}{f'_{eq} + t} + \frac{1}{x} = \frac{1}{f'_{eq}} \Rightarrow t = f'_{eq} \left(\left(1 - \frac{f'_{eq}}{x} \right)^{-1} - 1 \right).$$

- Si $x \in [100f'_{eq}; +\infty]$ alors $t \in [0; 0,01f'_{eq}] = [0; 0,5 \text{ mm}]$. Un tel déplacement est quasi imperceptible. En pratique il n'y a donc pas de mise-au-point à faire à de telles distances.
- Si $x \in [10f'_{eq}; 100f'_{eq}]$ alors $t \in [0,01f'_{eq}; 0,1f'_{eq}] = [0,5 \text{ mm}; 5 \text{ mm}]$. Cette fois la mise-au-point devient indispensable.

II. Objectif bifocal

II.1. Configuration (a)

- Soit un objet A ayant pour image par \mathcal{L}_2 le point A_1 qui a pour image par \mathcal{L}_3 le point A' . Les relations conjugaison avec origine au centre $O_2 = O_3$ s'écrivent :

$$\frac{1}{O_2A_1} - \frac{1}{O_2A} = \frac{1}{f'_2} \quad \text{et} \quad \frac{1}{O_2A'} - \frac{1}{O_2A_1} = \frac{1}{f'_3} \quad \text{d'où en sommant,} \quad \frac{1}{O_2A'} - \frac{1}{O_2A} = \frac{1}{f'_2} + \frac{1}{f'_3}.$$

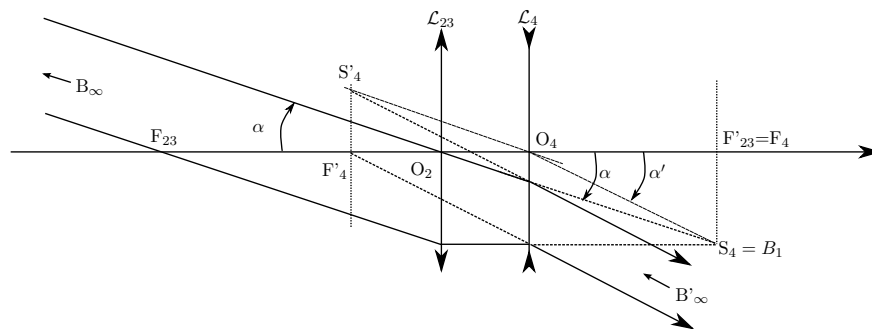
On a bien un système équivalent à une seule lentille dont la focale serait : $f'_{23} = \left(\frac{1}{f'_2} + \frac{1}{f'_3} \right)^{-1} = 84 \text{ mm}$.

Puisque $f'_{23} > 0$, la lentille équivalente est **convergente**.

- Un système est afocal si un objet à l'infini donne une image à l'infini. Nécessairement, cela impose donc une image intermédiaire A_1 qui soit à la fois dans le plan focal image de $\{\mathcal{L}_2, \mathcal{L}_3\}$ et dans le plan focal objet de \mathcal{L}_4 . Donc $A_1 = F'_{23} = F_4$. Ainsi $O_2O_4 = O_2F'_{23} + F_4O_4$ donc $O_2O_4 = \left(\frac{1}{f'_2} + \frac{1}{f'_3} \right)^{-1} + f'_4 = 24 \text{ mm}$.

- Le rayon passant par F_{23} émerge de \mathcal{L}_{23} parallèle à l'axe puis émerge de \mathcal{L}_4 en passant par F'_4 . Le rayon passant par O_2 n'est pas dévié par \mathcal{L}_{23} , puis émerge parallèle au rayon précédent puisque le système est afocal.

Toutefois on peut aussi trouver sa marche après \mathcal{L}_4 comme suit :
 — soit grâce au foyer image secondaire S'_4 (image d'un faisceau parallèle incident fictif, pointillés serrés) ;
 — soit grâce au foyer objet secondaire S_4 (dont l'image est un faisceau parallèle).
 On note que S_4 est aussi l'image intermédiaire B_1 par \mathcal{L}_{23} du point B_∞ situé à l'infini.

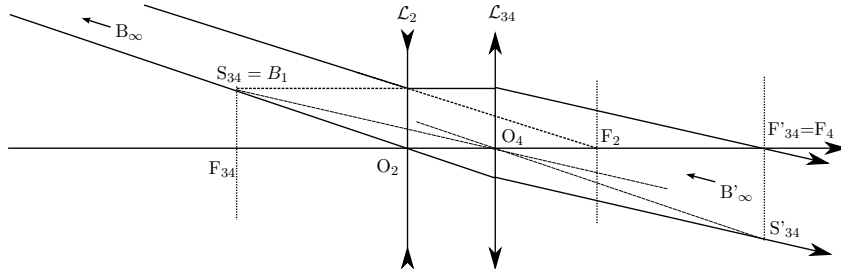


- Soit $\overline{A_1B_1}$ l'image intermédiaire (on a $A_1 = F_4$). D'après le tracé précédent, il vient $\tan \alpha = \frac{\overline{A_1B_1}}{f'_{23}}$ et $\tan \alpha' = -\frac{\overline{A_1B_1}}{f'_2}$. Dans les conditions de Gauss on a $\tan \alpha \sim \alpha$ et $\tan \alpha' \sim \alpha'$, d'où :

$$G_a = -\frac{f'_{23}}{f'_4} = -\frac{1}{f'_4} \left(\frac{1}{f'_2} + \frac{1}{f'_3} \right)^{-1} = 1,4.$$

II.2. Configuration (b)

13. Les lentilles \mathcal{L}_2 et \mathcal{L}_4 étant identiques, on a en fait un système correspondant à la permutation des deux lentilles \mathcal{L}_{23} et \mathcal{L}_4 dans la configuration précédente. Or d'après le **principe de retour inverse** de la lumière, on ce système est afocal quelque soit le sens de propagation de la lumière. **Le système est donc toujours afocal.**
14. La méthode est la même que précédemment. Le rayon passant par F_2 émerge de \mathcal{L}_{23} parallèle à l'axe puis émerge de \mathcal{L}_{34} en passant par F'_{34} . Le rayon passant par le centre O_2 émerge parallèle au précédent. On peut aussi se servir soit du foyer secondaire image S'_{34} , ou du foyer secondaire objet S_{34} , qui est aussi l'image intermédiaire B_1 formée par \mathcal{L}_2 .



15. Le dispositif correspond au précédent dans lequel on a inversé le sens de propagation de la lumière. Cela revient donc à inverser les rôles de α et α' par rapport à la question 12., donc :

$$G_b = \frac{1}{G_a} = -f'_2 \left(\frac{1}{f'_3} + \frac{1}{f'_4} \right) = 0,71.$$

II.3. Système complet

16. L'image donnée par \mathcal{L}_4 est à l'infini, donc l'image donnée par \mathcal{L}_1 est dans son plan focal image. C'est là qu'on doit placer le capteur.
La distance $\overline{O_4O_1}$ n'a pas d'influence puisque l'image intermédiaire est à l'infini.
17. Pour diminuer l'encombrement, il vaut mieux accoler les lentilles \mathcal{L}_4 et \mathcal{L}_1 .
18. En sortie de \mathcal{L}_4 , l'angle du faisceau est α' (cf 12. et 15.). Le résultat de la question 3. s'applique donc ici avec l'angle α' et la focale f'_1 : $\overline{A''B''} = f'_1 \tan \alpha' = f'_1 \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} \tan \alpha$.
Or le grossissement obtenu précédemment dans les conditions de Gauss vérifie toujours $G_i = \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} = G_i$ (ceci est vrai même pour α et α' non petits). On en déduit

$$\overline{A''B''} = f'_1 G_i \tan \alpha$$

19. D'après la question 3., on a $d = 2\overline{A''B''}_{\max} = 2f'_{eq} \tan \alpha_{\max}$. Or ici $2\overline{A''B''}_{\max} = 2f'_1 G_i \tan \alpha_{\max}$, donc on en déduit la focale équivalente

$$f'_{eq} = f'_1 G_i.$$

Ceci conduit dans les deux configurations à $f'_a = f'_1 G_a = 70 \text{ mm}$ et $f'_b = f'_1 G_b = 36 \text{ mm}$.

20. D'après la question 3., on obtient alors avec ces focales extrêmes

$$2 \times \alpha_{\max,a} = 2 \arctan \left(\frac{d}{2f'_a} \right) = 0,60 \text{ rad} = 34^\circ \quad \text{et} \quad 2 \times \alpha_{\max,b} = 2 \arctan \left(\frac{d}{2f'_b} \right) = 1,1 \text{ rad} = 62^\circ.$$

Ces champs sont trop importants pour respecter les conditions de Gauss, qui ne sont plus vérifiées.

21. Intérêt : l'objectif bifocal permet de **faire varier la focale** dans une plage (somme toute réduite) **entre 36 et 70 mm**. Rappelons en effet que plus la focale est grande plus l'image sera grande pour un objet lointain (effet de « zoom »).
Toutefois, cela se fait au prix d'un **encombrement supérieur** non négligeable : $\overline{O_2O_4} + f'_1 = 24 + 50 = 74 \text{ mm}$.
L'autre inconvénient est qu'il sera probablement plus difficile de bien corriger les **aberrations géométriques et chromatiques** puisqu'il y a plusieurs lentilles. Certains photographes préfèrent ainsi utiliser une focale fixe pour la qualité de l'image.

III. Objectifs dédiés spécifiquement à la macrophotographie

22. En reprenant les notations et les équations de la question 6., on obtient $x_m = \left(\frac{1}{f'_1} - \frac{1}{f'_1 + t_M} \right)^{-1} = 47 \text{ mm}$.

23. Les relations conjugaison avec origine au centres s'écrivent :

$$\frac{1}{\overline{O_5A_1}} - \frac{1}{\overline{O_5A}} = \frac{1}{f'_5} \quad \text{et} \quad \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}} = \frac{1}{f'_1} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{1}{\overline{O_5A_1}} + \frac{1}{x} = \frac{1}{f'_5} \quad \text{et} \quad \frac{1}{f'_1 + t_M} + \frac{1}{e - \overline{O_5A_1}} = \frac{1}{f'_1}.$$

En les combinant, ceci conduit à

$$x_m = \left(\frac{1}{f'_5} - \left(e - \left(\frac{1}{f'_1} - \frac{1}{f'_1 + t_M} \right)^{-1} \right)^{-1} \right)^{-1} = 22 \text{ cm}.$$

On a bien rapproché la limite de ce que l'on peut photographier.