

Exercice 1

Un LASER émet une radiation lumineuse quasi-monochromatique de fréquence $4,73 \cdot 10^{14}$ Hz

Quelle est la longueur d'onde dans le vide de cette radiation ? Quelle est sa couleur ?

On considère maintenant que cette radiation se propage dans un milieu d'indice de réfraction égal à 1,6. Quelle est alors sa longueur d'onde ? Quelle est sa couleur ?

$$\lambda_0 = c \cdot T = \frac{c}{f} \quad \text{A.N. : } \lambda_0 = 634 \text{ nm (rouge)}$$

d' une manière générale $\lambda = vT = \frac{c}{n}T = \frac{\lambda_0}{n}$ A.N. : pour $n = 1,6$ $\lambda = 396 \text{ nm}$
la couleur ne change pas, la couleur est liée à la fréquence, pas à la longueur d'onde !

Exercice 2

Un observateur regarde un poisson nager dans un aquarium contenant de l'eau (indice 1,33). Le poisson se trouve à une distance $h=20$ cm de la vitre qui le sépare de l'observateur. On négligera l'influence de cette vitre sur les rayons lumineux. A quelle distance h' de la vitre l'observateur voit-il le poisson ?

On représente le poisson par un point objet P.

Pour situer son image au travers du dioptre (interface air-eau), on trace 2 RL issues de P, l'une n'étant pas déviée car orthogonale à l'interface (passe par O) L'autre subit une réfraction au point I, donc $n \sin(i) = \sin(i')$

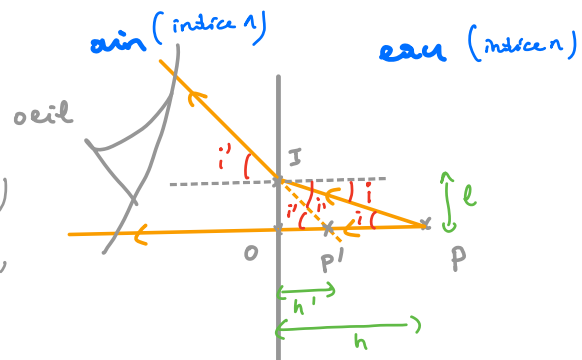
$$\text{On remarque par ailleurs que : } \tan(i) = \frac{h}{n} \quad \tan(i') = \frac{h'}{1}$$

Avec l'approximation des petits angles, tout cela donne :

$$\begin{cases} ni = i' \\ i = h/n \\ i' = h'/1 \end{cases}$$

$$\text{D'où } h' = \frac{h}{i'} = \frac{h}{ni} = \frac{h}{n}$$

$$\text{Finalement, } \boxed{h' = \frac{h}{n}} \quad \text{A.N. : } n = 4/3 \Rightarrow h' = \frac{3}{4} h, \text{ donc } h' = 15 \text{ cm}$$



Rem : Qualitativement, on peut simplement dire que $i' > i$ lors de la réfraction, et donc le point P' (= image virtuelle de P par le dioptre) d'où semblent provenir les RL est + proche de l'interface que P

Rem : Cela permet d'interpréter le fait qu'une pièce semble moins profonde (du même facteur $3/4$) qu'elle ne l'est réellement

Rem : Pourquoi des petits angles ? Les RL qui arrivent sur la pupille de l'œil (de taille ~ 4mm) ont des angles infimes entre eux !

Exercice 3

On veut photographier la tour eiffel avec un appareil possédant un objectif de focale 50 mm et un capteur de dimensions 13*17 mm (17 est la largeur, 13 la hauteur).

1. On considère que la mise au point est faite sur l'infini. Comment est situé le plan focal image par rapport au capteur ?
2. En considérant la tour eiffel à l'infini, construire sur un schéma son image par l'objectif.
3. A quelle distance de la tour eiffel faut-il se mettre au minimum pour l'avoir en entier (c'est à dire sur toute sa hauteur, qui est de 324m) sur la photo ?
4. On se place à 2km de distance. Calculer le diamètre angulaire de la tour eiffel à cette distance. Quelle est la taille de l'image sur le capteur ?
5. Toujours à cette distance, estimer l'écart entre la position de l'image et le plan focal image en utilisant la formule de Newton. Conclure sur la pertinence de l'approximation « objet à l'infini ».

1. Le capteur est dans le plan focal image de l'objectif.
2. schéma →
3. Pour avoir la tour eiffel en entier, la taille de l'image A_1B_1 doit être (au maximum) égale à h , taille des capteurs dans la direction verticale.

On a $\alpha = \frac{A_1B_1}{f'}$ (α reste petit)

D'où $\alpha = \frac{h}{f'}$ (au maximum)

On a $\alpha = \frac{H}{D}$, donc :

$D = \frac{H}{\alpha} = \frac{H f'}{h}$ (au minimum)

A.N : $D_{\min} = 1,26 \text{ km}$

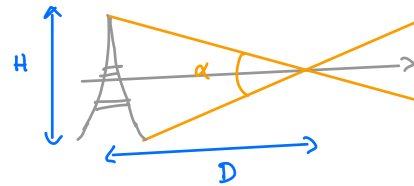
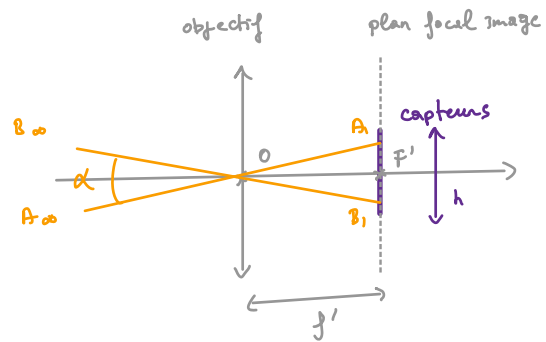
4. Ce sont les mêmes calculs qu'au 3 : $D = 2 \text{ km}$ $\alpha = 0,162 \text{ rad}$ $h = 8,1 \text{ mm}$

5. En considérant A et A' sur l'axe optique, $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2$

On a $\overline{FA} \approx -D$ (les 50 mm de distance focale sont négligeables devant 2 km)

D'où $\overline{F'A'} = \frac{f'^2}{D}$ A.N : $\overline{F'A'} = 1 \mu\text{m}$

Ainsi, $\overline{F'A'} \ll f'$, l'approximation "objet à l'infini" qui conduit à $OA' = f'$ est ici tout à fait légitime.



Exercice 4

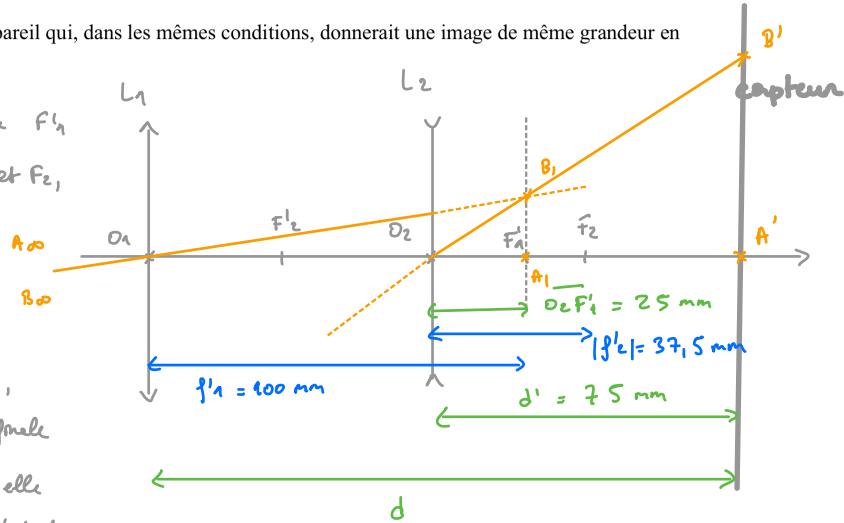
On considère un objectif photographique de type téléobjectif constitué :

- D'une lentille convergente L_1 de focale $f_1' = 100$ mm située à une distance d du capteur.
- D'une lentille divergente L_2 de focale $f_2' = -37,5$ mm situé à 75 mm du capteur (après L_1).

Le capteur a ici le même rôle qu'un écran : le but est de former sur lui une image nette.

1. Calculer la longueur d pour avoir une image nette d'un objet à l'infini.
Ceci donne l'encombrement de l'appareil (distance L_1 - pellicule).
2. Calculer la grandeur de l'image d'une tour de 60m de hauteur située à une distance de 3km. Est-elle réelle ou virtuelle ? Droite ou renversée ?
3. Calculer l'encombrement d'un appareil qui, dans les mêmes conditions, donnerait une image de même grandeur en utilisant une seule lentille.

1. Δ il est clair que F_1' doit être entre O_2 et F_2' , car l'image par L_1 d'un objet à l'infini est dans le plan focal image de L_1 et, pour avoir une image finale réelle sur le capteur, elle (l'image par L_1 de l'objet à l'infini) doit être entre O_2 et F_2' . (une lentille divergente ne donne une image réelle que pour un objet virtuel situé entre elle et son plan focal objet).



Conjugaison (origine au centre) pour L_2 :

$$\frac{1}{\overline{O_2A'}} - \frac{1}{\overline{O_2F_1'}} = \frac{1}{f_2'}$$

On connaît $\overline{O_2A'} = d' = 75$ mm et $f_2' = -37,5$ mm
 L' A. N donne $\overline{O_2F_1'} = 25$ mm

On voit ensuite que $d = f_1' - \overline{O_2F_1'} + d'$ Ce qui donne $d = 150$ mm

On peut procéder par relation de chasles : $d = \overline{O_1A'} = \overline{O_1F_1'} + \overline{F_1'O_2} + \overline{O_2A'}$
 $= f_1' - \overline{O_2F_1'} + d'$

2. La tour est vue sous un angle $\alpha = \frac{60 \text{ m}}{3 \text{ km}} = 0,02$ rad
 La taille de l'image intermédiaire A_1B_1 est donnée par $A_1B_1 = f_1' \cdot \alpha = 2$ mm
 Enfin, $\overline{A'B'} = \overline{A_1B_1} \cdot \frac{\overline{O_2A'}}{\overline{O_2A_1}} = 2 \times \frac{75}{25} = 6$ mm l'image finale est réelle, et renversée par rapport à l'objet.

3. La taille de l'image serait donnée par $A'B' = f' \cdot \alpha$ et il faudrait donc $f' = 300$ mm : l'encombrement serait le double de celui du téléobjectif.

Exercice 5

On considère un œil myope avec une distance cristallin-rétine de 18mm, une distance focale au repos du cristallin de 17mm et une distance focale du cristallin en accommodant au maximum de 16mm.

1. Calculer les limites de la plage d'accommodation (PP et PR) pour cet œil.
2. En considérant une correction par une lentille de contact (donc accolée à l'œil), quelle valeur de distance focale faut-il ?
3. Même question en considérant cette fois que le verre correcteur porté par les lunettes est à une distance de 2cm du cristallin.

1. Si l'image est nette sur la rétine,

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

avec $\overline{OA'} = d$

D'où $\overline{OA} = \frac{f'd}{f'-d}$ ($\overline{OA} < 0$)

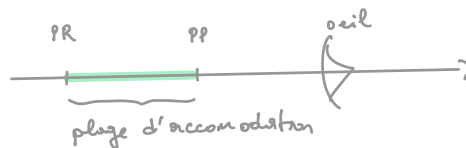
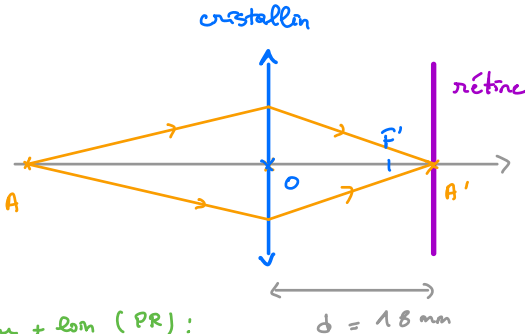
Soit $\overline{OA} = \frac{d-f'}{f'd}$

accommodation au + loin (PR) :

$f' = 17 \text{ mm} \Rightarrow \overline{OA} = 306 \text{ mm}$

accommodation au + proche (PP) :

$f' = 16 \text{ mm} \Rightarrow \overline{OA} = 144 \text{ mm}$



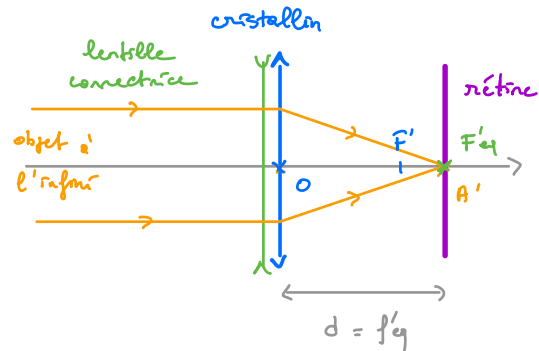
la plage d'accommodation est comprise entre (environ) 15 cm et 80 cm

2. On peut considérer les 2 lentilles

(cristallin et lentille de contact) comme

accollées et utiliser l'additivité

des vergences : $\frac{1}{f'_{\text{cr}}} + \frac{1}{f'_{\text{con}}} = \frac{1}{f'_{\text{eq}}}$



On considère la situation de vision à

l'infini, donc $f'_{\text{cr}} = 17 \text{ mm}$ et on veut

$f'_{\text{eq}} = d$ (ainsi, un objet à l'infini donne, par l'ensemble des 2 lentilles, une image sur la rétine). On trouve numériquement $f'_{\text{con}} = -306 \text{ mm} (-3,27 \delta)$

3. On peut raisonner ainsi: on se place toujours

en vision au PR, donc avec $f'_{\text{cr}} = 17 \text{ mm}$.

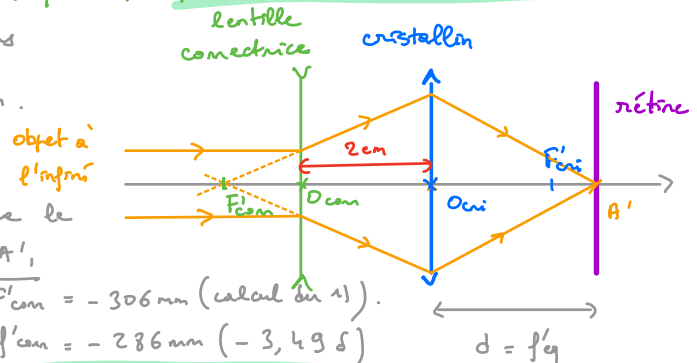
La lentille correctrice donne de

l'objet à l'infini une image virtuelle

sur son plan focal image, il faut donc que le cristallin donne de F'_{con} une image en A' ,

sur la rétine - On veut donc $O_{\text{cr}} F'_{\text{con}} = -306 \text{ mm}$ (calcul du 1).

D'où $O_{\text{con}} F'_{\text{con}} = -286 \text{ mm}$, soit $f'_{\text{con}} = -286 \text{ mm} (-3,49 \delta)$



Exercice 6

Un microscope est constitué de deux lentilles minces convergentes (objectif et oculaire). L'objectif a une focale de 2 cm et l'oculaire a une focale de 6 cm. La distance objectif - oculaire est de 16 cm. L'objet observé a une taille de 1 mm et est placé à 2,5 cm devant l'objectif.

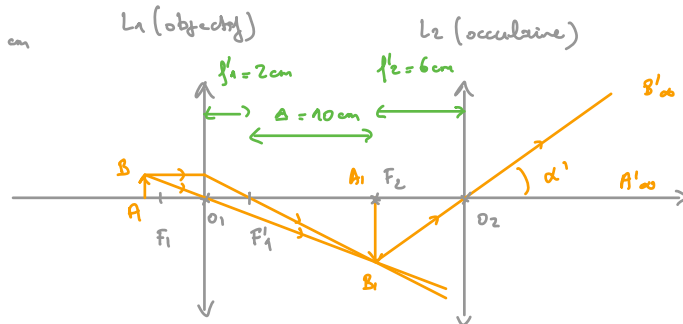
1. Faire un schéma et déterminer la position de l'image.
2. Déterminer l'angle sous lequel est vu l'objet par un œil situé à 1 cm derrière l'oculaire.
3. Déterminer la taille de l'image sur la rétine, la distance focale du cristallin étant de 2 cm (l'œil accommodé à l'infini)
4. Déterminer l'angle sous lequel serait vu l'objet sans le microscope (la distance objet-œil étant de 25 cm)
5. Déterminer le grossissement du microscope.

1. On calcule $\overline{O_1 A_1}$:

$$\frac{1}{\overline{O_1 A_1}} - \frac{1}{\overline{O_1 A}} = \frac{1}{f_1} \quad \text{avec } \overline{O_1 A} = -2,5 \text{ cm} \quad f_1 = 2 \text{ cm}$$

On trouve $\overline{O_1 A_1} = 10 \text{ cm}$

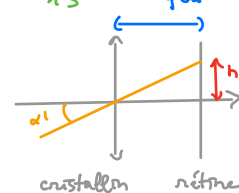
L'image intermédiaire est donc dans le plan focal objet de l'oculaire, l'image finale $A'B'$ est donc à l'infini.



2. L'image $A'B'$ étant à l'infini, la position de l'œil derrière l'oculaire n'importe pas, l'angle sous lequel est vue l'image est α' .

$$\alpha' = \frac{A_1 B_1}{f_2}, \quad \text{et} \quad A_1 B_1 = AB \cdot \frac{\overline{O_1 A_1}}{\overline{O_1 A}} \quad \underline{A.N.} : A_1 B_1 = 4 \text{ mm} \quad \text{et} \quad \alpha' = \frac{1}{15} \text{ rad}$$

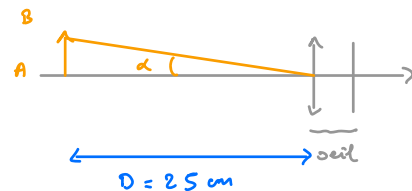
3. L'image se forme dans le plan focal image du cristallin, donc $h = f_{\text{crist}} \cdot \alpha$ A.N. : $h = 1,3 \text{ mm}$



4. Sans le microscope, l'objet est vu sous un angle $\alpha = \frac{AB}{D}$ A.N. : $\alpha = \frac{1}{250} \text{ rad}$

5. Le grossissement (qui donne finalement le rapport des tailles de l'image sur la rétine avec et sans le microscope) est défini par $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$

On trouve $G = 16,7$



Exercice 7

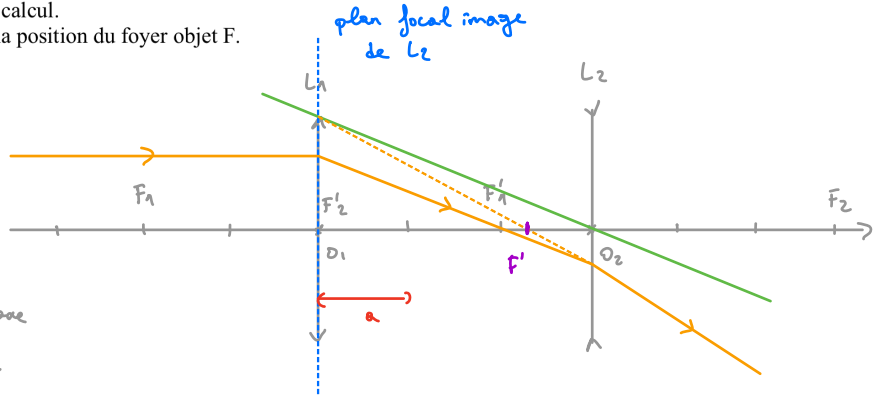
On considère l'ensemble constitué d'une lentille convergente de focale $f_1 = +2a$ et d'une lentille divergente de focale $f_2 = -3a$ la distance O_1O_2 valant $+3a$.

- 1) Faire un schéma. Tracer la marche à travers l'ensemble d'un rayon incident parallèle à l'axe optique. En déduire la position du foyer image F' de l'ensemble.
- 2) Confirmer cette position par le calcul.
- 3) Chercher de la même manière la position du foyer objet F .

1. F' est défini par

l'intersection du
(prolongement du)
rayon émergent associé
au rayon incident // à l'axe
et de l'axe optique.

On voit que $\overline{O_2F'} < 0$ et $\overline{O_2F'} < a$



2. On peut considérer qu'un RL incident // à l'axe provient d'un point objet à l'infini sur l'axe, donc :

On utilise la formule de conjugaison (origine au centre)

$$\text{pour } F_1 \xrightarrow{L_2} F' : \frac{1}{\overline{O_2F'}} - \frac{1}{\overline{O_2F_1}} = \frac{1}{f_2}$$

$$\text{Soit } \frac{1}{\overline{O_2F'}} = \frac{1}{-a} + \frac{1}{-3a} = -\frac{4}{3a} \quad \text{et donc } \underline{\overline{O_2F'} = -\frac{3}{4}a}$$

$A_{\infty} \xrightarrow{L_1} F_1$: l'image d'un point objet à l'infini sur l'axe est le foyer image

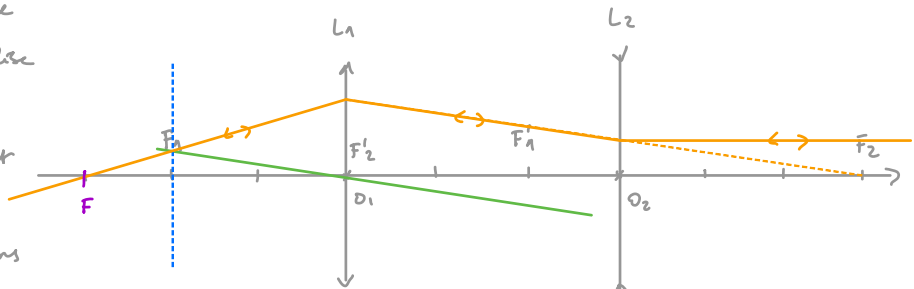
ce qui est cohérent avec la construction graphique

3. Un RL incident qui passe par F émerge // à l'axe. On utilise

le retour inverse de la lumière : le trajet suivi est le même dans un sens et dans

l'autre (pour la construction, on échange les rôles des foyers objet et image, la lumière allant en sens opposé à l'axe optique).

Il semble que $\overline{O_1F} = -3a$...



Par le calcul : $F \xrightarrow{L_1} F_2 \xrightarrow{L_2} A_{\infty}$ le foyer objet de L_2 est confondu avec l'infini (côté image).

Donc (conjugaison pour L_1) :

$$\frac{1}{\overline{O_1F_2}} - \frac{1}{\overline{O_1F}} = \frac{1}{f_1}$$

$$\text{donc } \underline{\overline{O_1F} = -3a}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F}} = \frac{1}{\overline{O_1F_2}} - \frac{1}{f_1} = \frac{1}{6a} - \frac{1}{2a} = \frac{1-3}{6a} = -\frac{1}{3a}$$

Exercice 8

On s'intéresse dans cet exercice à la notion de distance hyperfocale d'un appareil photographique, qui est la distance minimale à laquelle un objet peut être vu net lorsque la mise au point est faite sur l'infini.

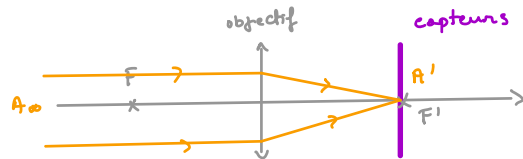
On considère dans l'exercice une focale $f' = 30\text{mm}$ et un diamètre d'ouverture défini par le nombre d'ouverture (rapport f'/D)

$N=16$.

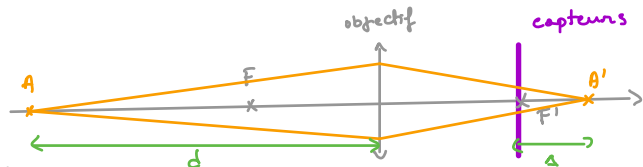
- Quelle est la dimension du nombre d'ouverture ? Que vaut ici le diamètre du diaphragme ?
- Faire un schéma en indiquant les foyers de l'objectif et la position du capteur.
- On considère un point objet A sur l'axe à une distance finie d devant l'objectif, et on note $\Delta = F'A'$ la distance entre le capteur et l'image A' . Montrer que $\Delta = \frac{f'^2}{d - f'}$. Quelle approximation peut-on raisonnablement faire dans cette expression, considérant que la distance d est supérieure au mètre ?
- Calculer numériquement Δ pour $d=1\text{m}$.
- En s'aidant d'un schéma, montrer que l'étendue de la tache image correspondant à l'objet A sur le capteur est donnée par $\frac{D\Delta}{f' + \Delta}$. Là encore, quelle approximation peut-on faire ?
- En notant g (pour grain) la taille des photodétecteurs, et en considérant que A donne une image nette si la taille de la tache image n'est pas supérieure à g , montrer que la distance hyperfocale est donnée par $d_{\min} = \frac{f'^2}{Ng}$. Faire l'application numérique avec les valeurs ci dessus et $g=10\mu\text{m}$.

1. N est sans dimension (rapport de distances). $N = f'/D$, donc $D = \frac{f'}{N}$ A.N : $D = 1,9\text{ mm}$

2. Si la mise au point est faite sur l'infini, les capteurs sont dans le plan focal image de l'objectif.



3. Par rapport au cas où A est à l'infini, on a déplacé A vers la droite, et donc A' aussi, qui se retrouve derrière le plan des capteurs.



Conjugaison (signe fixés) : $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2$

$$\Rightarrow -(d - f')a = -f'^2 \Rightarrow \Delta = \frac{f'^2}{d - f'}$$

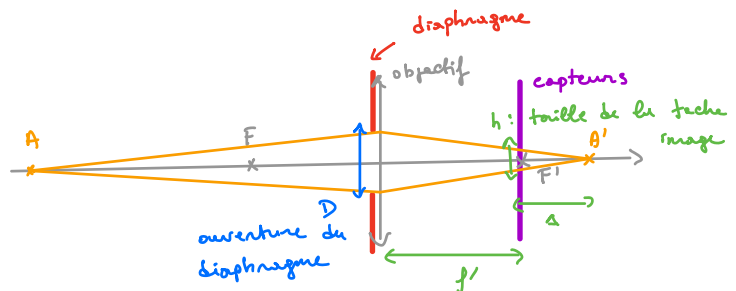
avec $\overline{FA} = -(d - f')$ et $\overline{F'A'} = \Delta$

$d \gg 1\text{m}$ et $f' = 30\text{ mm}$: $d \gg f'$, d'où $\Delta \approx \frac{f'^2}{d}$

4. L'A.N donne $\Delta = 0,9\text{ mm}$

5. Dans le plan des capteurs, la lumière venant de A est étalée sur un cercle de diamètre h . On voit (Thales) que :

$$\frac{D}{h} = \frac{f' + \Delta}{\Delta} \Rightarrow h = \frac{\Delta D}{f' + \Delta}$$



Comme $\Delta \ll f'$, $h \approx \frac{\Delta D}{f'}$ et en remplaçant Δ par $\frac{f'^2}{d}$: $h \approx \frac{f' D}{d} = \frac{f'^2}{d N}$ ($D = \frac{f'}{N}$)

6. L'image de A dans le plan des capteurs sera nette si toute la lumière de A arrive sur un seul capteur élémentaire, d'où le critère de netteté $h < g$, g étant la taille d'un détecteur élémentaire.

D'où $g = \frac{f'^2}{N d_{\min}}$ et donc $d_{\min} = \frac{f'^2}{N g}$. A.N : $d_{\min} = 5,6\text{ m}$

Exercice 9

Un viseur est constitué d'un objectif, lentille convergente de focale 5 cm et d'un oculaire, lentille convergente de focale 1 cm ; distants de 16 cm.

Déterminer les positions extrêmes (correspondant au PP et au PR) d'un objet vu à travers le viseur, par un œil « normal », pour qu'il soit vu net (on considérera que l'œil est « collé » à l'oculaire).

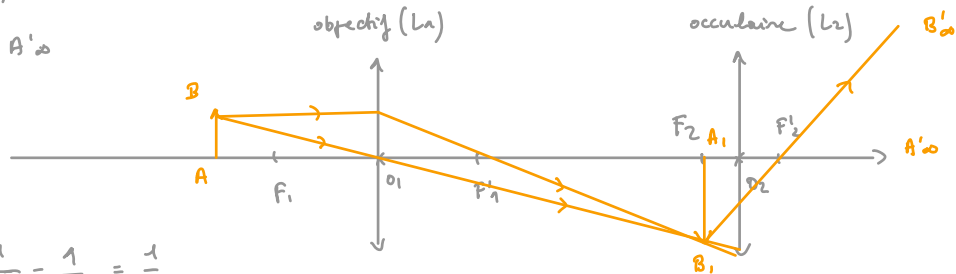
En déduire la profondeur de champ de ce viseur et conclure quant à son utilité.

Il s'agit d'évaluer la profondeur de champ de l'ensemble viseur + œil, il faut donc prendre en compte les facultés d'accommodation de l'œil.

- Si l'œil accomode au PR, donc à l'infini :

Dans ce cas, le viseur doit donner de l'objet une image à l'infini.

$$L_1 \rightarrow F_2 \rightarrow A'_{\infty}$$

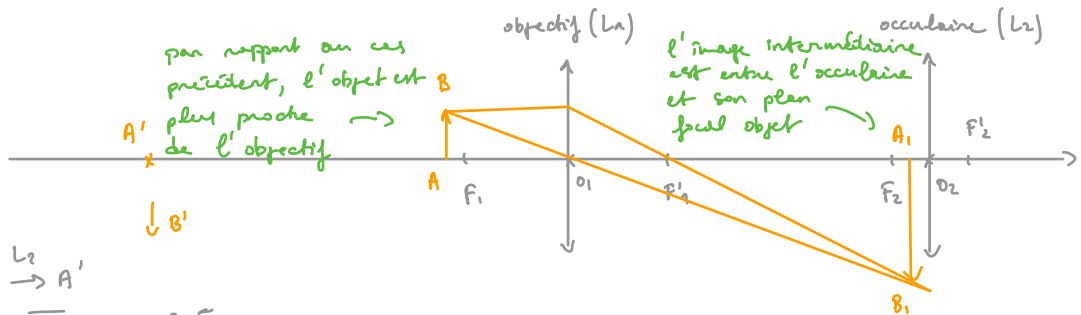


conjugaison : $\frac{1}{\overline{O_1 F_2}} - \frac{1}{\overline{O_1 A}} = \frac{1}{f_1}$

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1 A}} = \frac{1}{\overline{O_1 F_2}} - \frac{1}{f_1} \quad \text{avec } \overline{O_1 F_2} = 15 \text{ cm et } f_1 = 5 \text{ cm}$$

A.N : $\overline{O_1 A} = -7,5 \text{ cm}$: lorsque l'œil accomode à l'infini, l'objet doit être placé à 7,5 cm devant le viseur pour être vu net.

- Si l'œil accomode au PP, en prenant la distance standard de 25 cm :
Dans ce cas, le viseur doit donner de l'objet une image à 25 cm de l'oculaire, avant l'oculaire (on considère que l'œil est collé à l'oculaire, ainsi cette image qui est l'objet pour l'œil est bien à 25 cm de l'œil).
C'est donc une image virtuelle pour l'oculaire.



$$L_1 \rightarrow A_1 \rightarrow L_2 \rightarrow A'$$

On veut $\overline{O_2 A'} = -25 \text{ cm}$

De $\frac{1}{\overline{O_2 A'}} - \frac{1}{\overline{O_2 A_1}} = \frac{1}{f_2}$ (conjugaison L_2) on déduit $\overline{O_2 A_1}$, puis $\overline{O_1 A_1}$

Et de $\frac{1}{\overline{O_1 A_1}} - \frac{1}{\overline{O_1 A}} = \frac{1}{f_1}$ (conjugaison L_1) on déduit $\overline{O_1 A}$

A.N : $\overline{O_1 A} = -7,43 \text{ cm}$

Lorsque l'œil accomode à 25 cm, l'objet doit être à 7,43 cm devant le viseur.

On peut conclure que la profondeur de champ est de 1 mm, d'où la possibilité de pointer longitudinalement.