

# Appareil photo

Dans le sujet, si ce n'est pas précisé, le sujet photographié est constitué par la tour Eiffel culminant à une hauteur  $h_T = 320$  m du sol et située à une distance  $d_T = 1,0$  km de la photographe installée sur la place du Trocadéro (on considérera que la tour Eiffel est perpendiculaire à l'axe optique du système optique).

## Etude de l'objectif standard

On s'intéresse dans un premier temps à un objectif standard d'appareil photographique constitué d'une lentille convergente unique  $\mathcal{L}$  de centre  $O$  et de focale  $f' = 50$  mm.

1. Sans calcul, déterminer quelle doit être la distance  $D_T$  entre la lentille et la pellicule pour que la photographie de la tour Eiffel soit nette. Justifier la réponse.
2. On appelle  $h_{1T}$  la hauteur de l'image de la tour Eiffel sur la pellicule. Déterminer son expression en fonction de  $f'$ ,  $d$  et  $h_T$  puis calculer sa valeur numérique.

La photographe veut maintenant obtenir une image nette de son ami situé à 0,5 m (sans se soucier pour l'instant de la tour Eiffel à l'arrière). Pour cela, elle doit déplacer l'objectif d'une certaine distance, qu'on appelle *tirage* et qu'on note  $t$ .

3. Calculer le tirage pour obtenir une image nette de l'ami de la photographe.

## Photo souvenir

On suppose maintenant que la photographe vient de faire la mise au point sur la tour Eiffel. Elle souhaite par ailleurs prendre en photo la main de son ami qui tente de produire l'illusion d'optique de poser son doigt sur le sommet de la tour Eiffel, mais sans changer la mise au point.

4. Exprimer la taille  $\delta$  de la tâche que forme un point de la main sur l'axe optique en fonction de  $d_m$  la distance entre la photographe et son ami,  $f'$  et  $D$  le diamètre du diaphragme.
5. A quelle distance minimale  $d_{min}$  de la photographe doit se placer l'ami pour que sa main soit nette, sans que la photographe ne change la mise au point ? On notera  $\varepsilon$  la taille d'un capteur élémentaire sur une matrice CCD.
6. La zone sensible sur la pellicule est une matrice CCD de taille 24mmx36mm. Les pixels sont des carrés et la matrice contient 20 millions de pixels. Calculer  $d_{min}$  avec  $D = 1$  mm.

## Réalisation d'un téléobjectif avec une seule lentille

7. Dans le cas d'un téléobjectif de focale  $f'_0 = 200$  mm, calculer la hauteur  $h_{2T}$  de l'image de la tour Eiffel sur la pellicule ainsi que l'encombrement de l'appareil (distance entre la lentille et la pellicule).

On considère dans un premier temps une lentille de verre d'indice  $n$  placée dans l'air. On se place dans l'approximation d'un indice  $n$  ne dépendant pas de la longueur d'onde du rayonnement lumineux.

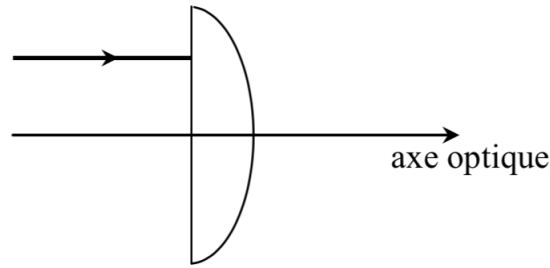


Figure 1 - Lentille pour téléobjectif

8. Rappeler les lois de Descartes associées à la réfraction.
9. Reproduire le schéma de la figure 1 et tracer la marche du rayon incident représenté dans et après la lentille. Justifier sommairement le tracé.
10. Définir le foyer image d'un système optique. Indiquer sur votre schéma la position du foyer image  $F'$  de la lentille. Quelle est la nature de cette lentille ? Justifier.

L'indice de réfraction  $n$  du verre constituant la lentille dépend en réalité de la longueur d'onde  $\lambda$  de la radiation lumineuse qui la traverse. Ils sont reliés par la loi de Cauchy :  $n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2}$  où  $a$  et  $b$  sont des constantes positives qui ne dépendent que du milieu traversé.

11. Quel est l'adjectif pour un milieu dont l'indice optique dépend de la longueur d'onde du rayonnement lumineux ?
12. Comparer **qualitativement**  $r_B$  et  $r_R$ , angles réfractés en sortie de la lentille pour une radiation rouge et pour une radiation bleue en considérant des rayons incidents parallèles à l'axe optique. Tracer alors les chemins suivis par ces deux radiations dans et après la lentille (on prendra toujours le rayon incident de la figure 1).
13. Expliquer le problème qui pourrait se poser si l'on réalisait un téléobjectif avec une lentille unique.

On peut s'affranchir de ce problème en réalisant un doublet, équivalent à une lentille convergente unique, constitué d'une lentille convergente accolée à une lentille divergente, les deux lentilles étant taillées dans des verres d'indices de réfraction différents. Le téléobjectif ainsi constitué présente toutefois l'inconvénient d'un encombrement important.

### Réalisation d'un téléobjectif par association de deux lentilles

Afin de raccourcir les téléobjectifs, en particulier les plus puissants, on peut réaliser un autre montage en associant deux lentilles distantes d'une distance  $e$  : une lentille convergente  $\mathcal{L}_1$  de centre  $O_1$  et de focale  $f'_1$  et une lentille divergente  $\mathcal{L}_2$  de centre  $O_2$  et de focale  $f'_2$ .

On prendra pour les applications numériques :  $f'_1 = 50$  mm,  $f'_2 = -25$  mm et  $e = \overline{O_1O_2} = 30$  mm. On note  $P$  l'intersection du plan de la pellicule avec l'axe optique.

14. Déterminer littéralement la distance  $\overline{O_1F'}$  en fonction de  $f'_1$ ,  $f'_2$  et  $e$ .
15. En déduire l'expression de l'encombrement  $O_1P$  de l'appareil en fonction de ces mêmes grandeurs lorsque l'on photographie un objet à l'infini. Faire l'application numérique.
16. Faire un schéma en faisant apparaître les étapes de construction pour trouver la position de  $F'$ . Est-ce cohérent avec le calcul ?
17. Déterminer l'expression de  $h_{3T}$ , hauteur de l'image de la tour Eiffel sur la pellicule en fonction de  $f'_1$ ,  $f'_2$ ,  $e$ ,  $d_T$  et  $h_T$ . Faire l'application numérique.
18. Commenter les résultats précédents.