

DEVOIR SURVEILLÉ N°3

Durée de l'épreuve : 2h00

L'usage de la calculatrice est autorisé

L'énoncé de ce devoir comporte 3 pages

- Si, au cours de l'épreuve, vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, signalez-le sur votre copie et poursuivez votre composition en expliquant les initiatives que vous êtes amenées à prendre.
- Le barème tiendra compte des commentaires physiques ainsi que des qualités de rédaction.
- La numérotation des exercices doit être respectée. Les résultats doivent être systématiquement encadrés.

Problème 1 : Lunette de Galilée

Une lunette de Galilée est modélisée par :

- ✓ un objectif assimilable à une lentille mince L_1 , de centre O_1 et de vergence $V_1 = +5 \text{ } \delta$ (dioptries)
- ✓ un oculaire assimilable à une lentille mince L_2 , de centre O_2 et de vergence $V_2 = -20 \text{ } \delta$ (dioptries)

1. Déterminer la nature des deux lentilles ainsi que les valeurs des distances focales images f'_1 et f'_2 .

La lunette est du type « afocal » : elle donne d'un objet situé à l'infini une image rejetée à l'infini.

2.1. Donner le principe de fonctionnement d'une telle lunette.

2.2. Déterminer la distance $d = \overline{O_1 O_2}$ position relative des deux lentilles.

2.3. Dessiner, dans les conditions de Gauss, la marche de rayons lumineux incidents, issus d'un point objet à l'infini, faisant un angle α avec l'axe optique et émergeant sous l'angle α' .

2.3. En déduire le grossissement $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ de cette lunette en fonction des angles α et α' , puis des distances focales images f'_1 et f'_2 . Effectuer l'application numérique.

Un astronome amateur utilise cette lunette, normalement adaptée à la vision d'objets terrestres, pour observer deux cratères lunaires : Copernic (de diamètre 96 km) et Clavius (de diamètre 240 km).

Données : Distance Terre – Lune : $d_{TL} = 384\,000 \text{ km}$

3.1. L'astronome voit-il ces deux cratères lunaires :

- à l'œil nu ? (Acuité visuelle de l'ordre de $3 \times 10^{-4} \text{ rad}$)
- à l'aide de cette lunette ? Justifier vos réponses.

3.2. La planète Vénus (de diamètre 12 150 km) occultera Jupiter (de diamètre 145 800 km) le 22 novembre 2065.

Notre astronome amateur (qui sera certainement confirmé!!), pourra-t-il observer à l'œil nu ou à l'aide de sa lunette le disque jovien occulté par Vénus ?

Dans cette configuration, la distance :

- Terre-Vénus sera $d_{TV} = 45 \times 10^6 \text{ km}$
- Terre- Jupiter sera $d_{TJ} = 6,3 \times 10^8 \text{ km}$

Problème 2 : Étude d'un appareil photo jetable

Les appareils photos jetables sont conçus pour ne servir qu'une seule fois. Ils sont donc de conception très simple afin que le prix de revient soit le plus bas possible. Nous étudions l'optique de tels appareils.

L'objectif n'est composé que d'une seule lentille mince (L), de diamètre utile D_L , et la pellicule se situe à une distance d fixe de la lentille (Figure 1).

Aucune mise au point n'est possible, c'est-à-dire que la distance d est fixée lors de la fabrication et n'est pas modifiable par l'utilisateur. Nous travaillerons dans les conditions de Gauss.

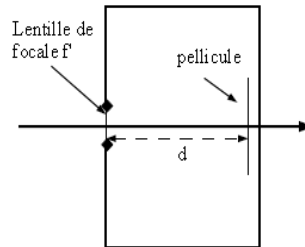


Figure 1 – Schéma de l'appareil photo jetable

1. Éléments expérimentaux

1.1. Rappeler en quoi consistent les conditions de Gauss ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients.

1.2. Comment fait-on en pratique pour travailler dans les conditions de Gauss ?

1.3. En fonctionnement usuel, les objets et les images données par (L) sur la pellicule sont réels.

En s'intéressant à la nature convergente ou divergente du faisceau incident et du faisceau émergent, déterminer la nature convergente ou divergente de la lentille (L) servant d'objectif.

Par la suite sa distance focale image sera notée f'

2. Mise au point à l'infini

L'objet à photographier étant situé à l'infini, déterminer la valeur de la distance d qu'il faut prévoir lors de la fabrication pour que son image soit nette sur la pellicule.

3. Taille de l'image sur la pellicule

3.1. Quelle est alors la dimension X , sur la pellicule, de l'image de la Lune qui a un diamètre apparent α (on pourra s'aider d'une construction géométrique pour répondre).

3.2. Faire l'application numérique avec $f' = 3,0 \text{ cm}$ et $\alpha = 0,5^\circ$

Un objet ponctuel A, qui n'est pas situé à l'infini, a son image en dehors du plan de la pellicule et donne sur la pellicule une tache de diamètre $D_{A'}$

Soit d_A la distance entre le point A et la lentille (d_A est une distance positive, cf Figure 2).

4.1. Exprimer $\overline{OA'}$ en fonction de f' et d_A .

4.2. Montrer que l'expression de $D_{A'}$ en fonction de D_L (diamètre utile de la lentille), f' et d_A est :

$$D_{A'} = D_L \cdot \frac{f'}{d_A}$$

5. La pellicule est formée de grains que l'on supposera circulaires et de même diamètre ϵ .

Une image, après développement de la pellicule, paraît nette si un point objet n'a éclairé qu'un seul grain et a donc donné, sur la pellicule, une tache de diamètre inférieur ou égal à ϵ .

Sachant que $f' = 3,0 \text{ cm}$, que $D_L = 2 \text{ mm}$ (partie utile de la lentille) et que $\epsilon = 20 \mu\text{m}$, calculer numériquement la position A (d_A) du point le plus proche qui est encore net après développement.

Afin de pouvoir diminuer d_A , on augmente, lors de la fabrication, la distance d afin qu'un point à l'infini soit à la limite de netteté (il donne donc une tache de diamètre ϵ sur la pellicule).

6.1. Faire un schéma du dispositif montrant la tache donnée par l'objet à l'infini.

6.2. Déterminer d et faire l'application numérique.

6.3. Déterminer la nouvelle distance d_A correspondant au point le plus près donnant lui aussi une tache de diamètre ϵ sur la pellicule et faire l'application numérique.

6.4. Quel est l'effet sur d_A (c'est-à-dire sur la profondeur de champ de l'appareil) si on diminue le diamètre D_L de la lentille ? Pourquoi n'est-ce pas nécessairement une bonne idée ?

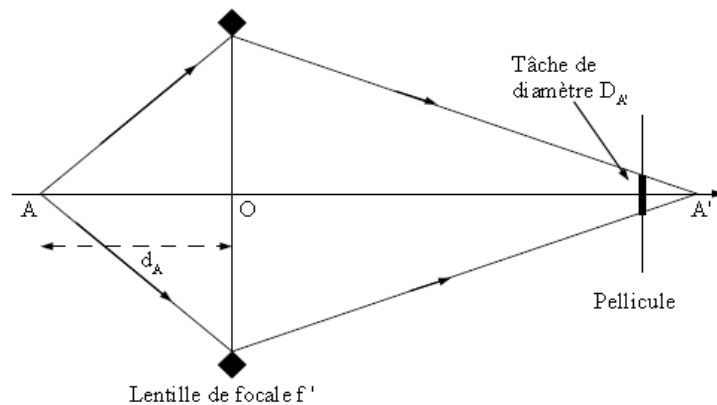


Figure 2 – Point objet donnant une tache sur la pellicule

Problème 3 (*) : Étude du CANON EOS 550D

Un tel appareil photo est constitué d'un ensemble de lentilles dont le but est de former l'image réelle d'un objet sur un capteur, c'est-à-dire un détecteur sensible aux radiations lumineuses : ici un capteur CMOS.

Cet ensemble est associé à un boîtier qui joue le rôle de chambre noire et qui contient un obturateur, un système optique de visée et de mise au point ainsi qu'une cellule photoélectrique qui permet de mesurer le flux lumineux incident.

La *figure 1*, ci-dessous, représente les principaux éléments de l'appareil photo CANON 550D, avec un miroir pivotant (a), un verre de visée (b), une lentille collectrice (c), un pentaprisme en toit (d) ainsi qu'un oculaire (e).

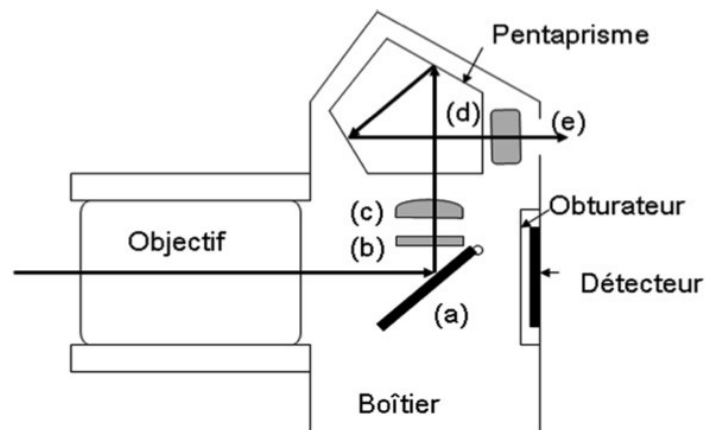


Figure 1 – Modélisation de l'appareil photo CANON 550D

Le système optique qui constitue l'objectif doit restituer la forme et les couleurs de l'objet, ceci dans des conditions où les rayons lumineux incidents ne vérifient pas nécessairement les conditions dites de Gauss.

Il doit donc pouvoir corriger les aberrations chromatiques et géométriques. On utilise pour cela un ensemble de lentille pour former l'objectif.

Un objectif est décrit par sa « focale ». Elle représente la distance entre le capteur CMOS et la lentille simple équivalente à l'objectif pour un sujet à l'infini, c'est-à-dire à grande distance. Les usages veulent que l'on qualifie de longue (respectivement courte) focale, un objectif dont la focale est plus grande (respectivement plus petite) que la longueur de la diagonale du capteur utilisé (capteur CMOS). Ceci implique que le choix de la focale est indissociable de celui du format du capteur.

1. Objectif assimilé à une simple lentille mince

Le but de cette partie est d'obtenir une interprétation simple de la « focale » équivalente à un objectif en terme de *champ angulaire*, ainsi qu'une définition de la notion de *tirage*. On modélise l'objectif par une simple lentille mince L_{eq} de focale image f'_{eq} . Le capteur est un rectangle de taille $\ell \times L$.

Pour les applications numériques, on prendra $f'_{eq} = 50$ mm; $\ell = 24$ mm; $L = 36$ mm.

L'appareil est d'abord réglé sur un objet à l'infini.

1.1. Exprimer la diagonale d de la pellicule en fonction de ℓ et L . Calculer d .

1.2. Réaliser un schéma de l'objectif visant un objet à l'infini $\overline{A_\infty B_\infty}$ et construire son image $\overline{A' B'}$ sur le capteur CMOS.

On fera apparaître α l'angle sous lequel est vu l'objet à l'infini

1.3. Déterminer la relation entre la taille de l'image $\overline{A' B'}$ sur le capteur, α et f'_{eq} .

1.4. En déduire le champ angulaire de l'objectif en fonction de f'_{eq} , ℓ et L , c'est-à-dire l'angle maximal $2\alpha_{max}$ sous lequel peut être vu un objet à l'infini entièrement sur la diagonale du capteur CMOS. Faire un schéma de la situation correspondante.

Effectuer et commenter l'application numérique (en radian puis en degrés).

L'appareil étant initialement réglé sur un objet placé à l'infini, on vise alors un objet situé à une distance finie $x = \overline{AO}$ de l'objectif. On constate alors que pour en former une image nette sur le capteur, il faut déplacer l'objectif d'une certaine distance t , appelée *tirage*. Cette opération constitue la *mise-au-point*.

1.5. Dans quel sens doit-on déplacer l'objectif ? On pourra répondre à la question par un schéma.

1.6. Calculer le tirage t en fonction de x et f'_{eq} .

1.7. Calculer la plage de variation de ce tirage pour un objet placé entre l'infini et $x = 100 f'_{eq}$. Est-il nécessaire de faire la mise-au-point dans ce cas ?

1.8. Même question pour un objet situé entre $x = 100 f'_{eq}$ et $x = 10 f'_{eq}$.

2. Objectif bifocal

Considérons trois lentilles minces L_2 , L_3 et L_4 , de centres O_2 , O_3 et O_4 , placées suivant un même axe optique.

L_2 et L_4 sont identiques et divergentes, de distance focale $|f'_2| = |f'_4| = 60$ mm, tandis que L_3 est convergente avec $|f'_3| = 35$ mm.

On a $\overline{O_2 O_4} > 0$. La lentille L_3 est susceptible de se déplacer entre les lentilles L_2 et L_4 .

On se propose d'étudier les deux configurations extrêmes :

Configuration (a) : quand L_3 est accolée à L_2 .

Configuration (b) : quand L_3 est accolée à L_4 .

Configuration (a)

Dans cette première configuration **(a)**, les lentilles L_2 et L_3 sont accolées et on peut alors considérer que $O_2 = O_3$.

2.1. Établir l'expression de la distance focale image f'_{23} de la lentille équivalente au système $\{L_2, L_3\}$ en fonction de f'_2 et f'_3 .

La calculer numériquement et en déduire la nature de cette lentille équivalente.

2.2. Déterminer la distance $\overline{O_2 O_4}$ en fonction de f'_2, f'_3 et f'_4 pour que le système constitué des trois lentilles soit afocal.

La calculer.

2.3. Réaliser un schéma de la configuration précédente et tracer deux rayons incidents parallèles entre eux, l'un passant par le centre O_2 de la lentille équivalente au système $\{L_2, L_3\}$, l'autre passant par le foyer objet équivalent F_{23} puis leur devenir au passage par le système. On expliquera succinctement la démarche de construction en respectant les valeurs des focales.

2.4. En supposant les conditions de Gauss respectées, exprimer le grossissement angulaire $G_a = \frac{\alpha'}{\alpha}$ en fonction de f'_{23} et f'_4 , avec α et α' les angles orientés des rayons incident et émergent définis par rapport à l'axe optique. Calculer G_a .

Configuration (b)

Dans cette deuxième configuration **(b)**, les lentilles L_3 et L_4 sont maintenant accolées en ayant pris soin de maintenir la distance $\overline{O_2 O_4}$ identique à celle de la question **2.2**.

3.1. Le système est-il toujours afocal ?

3.2. Réaliser un schéma de la configuration précédente et tracer deux rayons incidents parallèles entre eux, l'un passant par le centre O_2 de la lentille L_2 , l'autre passant par le foyer principal objet F_2 puis leur devenir au passage par le système. On expliquera succinctement la démarche de construction.

3.3. Déterminer G_b le grossissement angulaire correspondant défini comme à la question **2.4**.

Système complet

On place enfin derrière la lentille L_4 , une lentille L_1 de distance focale image $f'_1 = 50$ mm.

4.1. A quelle distance de L_1 doit-on placer le capteur pour obtenir une image nette d'un objet placé à l'infini ?

La distance $\overline{O_4 O_1}$ importe-t-elle ?

4.2. Où doit-on placer la lentille L_1 pour que l'encombrement du système {lentilles - capteur} soit le plus faible possible ?

On note G_i le grossissement angulaire du dispositif afocal $\{L_2, L_3, L_4\}$ dans l'une des configurations précédentes **(a)** ou **(b)** (on a alors $G_i = G_a$ ou $G_i = G_b$). L'appareil vise un objet à l'infini vu sous un angle α par la lentille L_2 .

4.3. Exprimer la dimension de l'image finale $\overline{A'' B''}$ formée sur le capteur à l'aide de G_i , α et f'_1 , en supposant toujours les conditions de Gauss établies et en utilisant les résultats de la **partie 1**.

4.4. En s'appuyant sur l'étude réalisée dans la **partie 1**, déduire les « focales » f'_a et f'_b de l'objectif constitué des quatre lentilles, respectivement pour les configurations **(a)** et **(b)**.

4.5. En utilisant la taille du capteur CMOS donnée dans la **partie 1**, déterminer numériquement le champ angulaire (défini également dans la **partie 1**) dans les configurations **(a)** puis **(b)**. Que vous inspirent ces valeurs ?

4.6. CONCLUSION : Quel est l'avantage de l'objectif bifocal sur un système composé d'une seule lentille ?

Y aurait-il des inconvénients ?