

- PROBLEME D'OPTIQUE 1 -

- **ENONCE** : « Appareil photographique »

I. OBJECTIF STANDARD

- On assimile l'objectif d'un appareil photographique à une lentille mince convergente (L) de centre O et de distance focale image f' .
- La distance d entre (L) et l'écran (E) où se trouve la pellicule sensible est variable, ce qui permet d'effectuer la mise au point.
- Sauf à la question I.1.c), on ne tiendra pas compte des effets de diffraction et le problème sera traité dans le cadre de l'optique géométrique.
- La pellicule sensible est composée de cristaux de sels d'argent (halogénures) pris dans une gélatine (polyesters, par exemple) : les cristaux ayant été « activés » par les photons (on parle d'**image latente**) seront plus facilement réduits en argent métallique par l'action du **révélateur** ; l'image est ensuite stabilisée par l'action du **fixateur**, qui débarrasse la pellicule des sels d'argent non réduits (zones de l'image faiblement éclairées).
- A ce stade, l'image apparaît en **négatif**, puisque les zones sombres du sujet photographié correspondent aux zones transparentes (dépourvues de dépôts d'argent) de la pellicule fixée et inversement.
- Il faut bien comprendre qu'un objet **ponctuel** (exemple d'une étoile sur un fond obscur) donnera une **tache** correspondant à la taille d'un cristal de sel d'argent : il s'agit du « **grain** » de la pellicule, qui dépend essentiellement de sa **sensibilité** (en photographie numérique, on retrouve cette notion de « pixel », où la taille minimale de l'image d'un point correspond à celle d'une cellule élémentaire de semi-conducteur du capteur CCD).

1.1) Mise au point de l'objectif

- On désire photographier des objets dont la distance x à (L) varie de x_0 à l'infini : dans quel domaine doit pouvoir varier d ?
- Calculer les valeurs extrêmes, d_{\min} et d_{\max} , de d lorsque $x_0 = 60 \text{ cm}$ et $f' = 50 \text{ mm}$?

1.2) Ouverture et temps de pose

- Dans des conditions d'éclairement E (en $W.m^{-2}$) données et pour une **sensibilité** de pellicule donnée (celle-ci, exprimée en « iso », correspond à l'**énergie** nécessaire à l'activation « satisfaisante » des cristaux d'halogénures d'argent), les deux autres paramètres sur lesquels peut agir le photographe sont :

♦ le diamètre D du diaphragme circulaire (D) qui limite le faisceau lumineux entrant dans la lentille (L) ; ce diamètre est variable afin d'intercepter plus ou moins de lumière.

On appelle « **ouverture relative** » de l'objectif le rapport :

$$\frac{D}{f'} = \frac{1}{N}, \text{ où } N \text{ est le « numéro de diaphragme »}$$

Les valeurs usuelles de N sont : 2 ; 2,8 ; 4 ; 5,6 ; 8 ; 11 ; 16

PROBLEME

♦ le « **temps d'exposition** » (ou « **vitesse** ») T_e , qui correspond à la durée pendant laquelle la pellicule reçoit des photons.

Les valeurs usuelles de T_e , exprimées en secondes sont :

$$\frac{1}{8}; \frac{1}{15}; \frac{1}{30}; \frac{1}{60}; \frac{1}{125}; \frac{1}{250}; \frac{1}{500}; \frac{1}{1000}$$

- Exprimer le lien entre les deux suites, N et T_e ; proposer des couples (N, T_e) équivalents.

1.3) Ouverture et distance hyperfocale liée au grain

• Lorsque l'appareil est mis au point sur l'infini, un point situé à l'infini donne, après développement, une tache due à la taille g du « grain » de l'émulsion de la pellicule : pour les applications numériques, on prendra $g = 20\mu m$.

• Compte tenu des lois de l'optique géométrique, un point A , situé à distance finie sur l'axe, donne, de toute manière, une tache dans le plan focal de la lentille (L).

a) Etablir, en s'appuyant sur une figure, l'expression de la **distance hyperfocale** L_0 , définie par la distance minimale entre le point A et la lentille pour que la taille de la tache donnée par A reste inférieure à celle du grain ; on exprimera le résultat en fonction de g, f' et N .

Calculer la valeur numérique de L_0 pour $N = 2,8$ puis pour $N = 16$.

b) La profondeur de champ, P_r , est la zone de l'espace objet donnant une image « nette », c'est-à-dire pour laquelle un point objet donne une tache image de taille inférieure à celle du grain : quel est, qualitativement, le lien entre N et P_r ? entre f' et P_r ?

c) On sait qu'une ouverture circulaire de diamètre D diffracte principalement dans un cône de demi angle d'ouverture $\theta = 1,22 \times \frac{\lambda}{D}$, avec ici $\lambda \approx 0,6\mu m$ (jaune).

On souhaite opérer à $N = 11$: le phénomène de diffraction est-il à prendre en compte ? Commenter.

1.4) Amélioration de la profondeur de champ

Nous avons remarqué précédemment que, l'appareil étant réglé à l'infini, un point situé à l'infini donne de toute manière une tache liée à la taille du grain: il paraît donc possible, en faisant la mise au point à distance finie, de garder « nette » (au moins suffisamment...) l'image d'un point situé à l'infini.

a) En raisonnant sur une figure simple, déterminer la valeur d' de d permettant de diminuer la distance hyperfocale, c'est-à-dire d'augmenter la profondeur de champ ; exprimer le résultat en fonction de g, f' et N . Calculer numériquement d' pour $N = 2,8$ et $N = 16$.

b) Déterminer la nouvelle distance hyperfocale L'_0 et l'évaluer approximativement en fonction de L_0 et de f' .

c) Certains appareils bon marché sont « sans mise au point » : la focale et le numéro de diaphragme sont fixés par le constructeur. Commenter les choix retenus, ainsi que leurs inconvénients éventuels.