

► Correction : Capteur CCD et flux solaire

1. Afin de déterminer un ordre de grandeur du nombre de photons qui parviennent sur un pixel de l'appareil photo étudié, on suit le raisonnement suivant :

- Détermination de la puissance solaire reçue par l'appareil photo
- En déduire l'énergie solaire reçue par le capteur pendant le temps d'ouverture
- Calculer le nombre de photons reçus par l'appareil

Puissance solaire reçue

On s'intéresse en premier lieu à l'éclairement Φ à la surface de la terre due au rayonnement solaire.

$$\Phi = 0,70 P_3$$

$$\text{A.N. : } \Phi = 980 \text{ W/m}^2$$

La photo est prise en plein jour, l'exposition lumineuse est élevée. On choisit donc le nombre d'ouvertures le plus grand : $N = 25$ pour avoir une plus grande **profondeur de champ**. Le diamètre D du diaphragme est donc le plus faible.

Pour mémoire



La **profondeur de champ** est un thème classique dans les exercices d'optique géométrique. Vous pouvez vous entraîner sur le *Microscope optique* p.229 qui traite de la **latitudo de mise au point**, une grandeur comparable.

La surface S recevant la lumière est donc :

$$S = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$\text{A.N. : } D = 2 \text{ mm et } S = 3,1 \text{ mm}^2$$

On suppose que le diaphragme reçoit 5% de la puissance reçue du Soleil par l'objet photographié photographié, soit une puissance totale :

$$P = 0,05 \times \Phi S$$

$$\text{A.N. : } P = 0,05 \times 980 \times 3,1 \cdot 10^{-6} = 1,5 \times 10^{-4} \text{ W}$$

Détermination de l'énergie solaire reçue par l'appareil photo

Afin de ne pas se retrouver avec une photo surexposée (trop blanche), on souhaite ne pas laisser entrer trop de lumière lorsque l'exposition solaire est importante. Pour cela on choisit une vitesse d'obturation très rapide : $\Delta t = 1/4000 \text{ s}$. On en déduit $E = P \cdot \Delta t$.

$$\text{A.N. : } E = \frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{4000} = 3,8 \times 10^{-8} \text{ J}$$

Nombre de photons reçus par l'appareil

La lumière monochromatique de fréquence ν est constituée de photons d'énergie E_ν proportionnelle à la fréquence ν de l'onde par la **relation de Planck** :

$$E_\nu = h\nu$$

Avec $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s}$ la **constante de Planck**. La plage de longueur d'onde des rayonnements électromagnétique du **domaine visible** s'étend de $\lambda_{\text{violet}} = 380 \text{ nm}$ à $\lambda_{\text{rouge}} = 750 \text{ nm}$. On choisit donc un rayonnement de longueur d'onde moyenne $\lambda_m = 570 \text{ nm}$. La fréquence du rayonnement est égale à $\nu = \frac{c}{\lambda_m}$, avec $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ la célérité de l'onde dans le vide, d'où :

$$N = \frac{E}{E_\nu} = \frac{E\lambda}{hc}$$

$$\text{A.N. : } N = 1,1 \cdot 10^{11} \text{ photons}$$

On en déduit le nombre de photons par pixels : $N_{\text{pix}} = \frac{N}{n}$.

$$\text{A.N. : } N_{\text{pix}} = 4564 \text{ photons par pixel}$$

2. D'après l'indication de l'énoncé, les **fluctuations** du nombre de photons par pixels sont de l'ordre de $\sqrt{N_{\text{pix}}} = 66$. Ainsi, N_{pix} varie entre 4498 et 4630 photons par pixel, ce qui correspond à une variation de 3% (ou $\pm 1,5\%$).

Sélectionner les valeurs les plus extrêmes de vitesse d'obturation et de nombre d'ouvertures n'est donc **pas le meilleur réglage** lorsque la luminosité est maximale. Afin d'améliorer la qualité de la photo, plusieurs options sont possibles :

- Réduire la **vitesse d'obturation**, c'est-à-dire en augmenter le temps d'ouverture, ce qui augmente le nombre de photons reçus par pixel,
- Réduire le **nombre d'ouverture** pour augmenter le diamètre d'ouverture de l'objectif, et donc la surface recevant la lumière réfléchie par l'objet.

On choisit d'augmenter le diamètre d'ouverture et de réduire la vitesse d'obturation. On choisit par exemple $N = 16$ et $\Delta t = \frac{1}{2000}$. On a alors $D = 3,1 \text{ mm}$ et $S = 7,7 \text{ mm}^2$. La puissance reçue par le diaphragme vaut $P = 3,7 \times 10^{-4} \text{ W}$ et l'énergie reçue $E = 1,9 \times 10^{-7} \text{ J}$.

$$\text{A.N. : } \text{Chaque pixel reçoit alors } N_{\text{pix}} = 22432 \text{ photons, avec des fluctuations de l'ordre de } 150 \text{ photons, soit une variation de l'ordre de } 0,7\% < 1\%. \text{ Ce réglage est donc meilleur.}$$

⊕ Petit plus

Un capteur CCD est composé de plusieurs millions de **photodiodes** sur lesquelles on place des filtres rouges, verts et bleus pour reconstituer les couleurs de l'objet **synthèse additive**. On compte deux photodiodes sensibles au vert pour une rouge et une bleue, ce qui correspond à la sensibilité de l'œil humain.