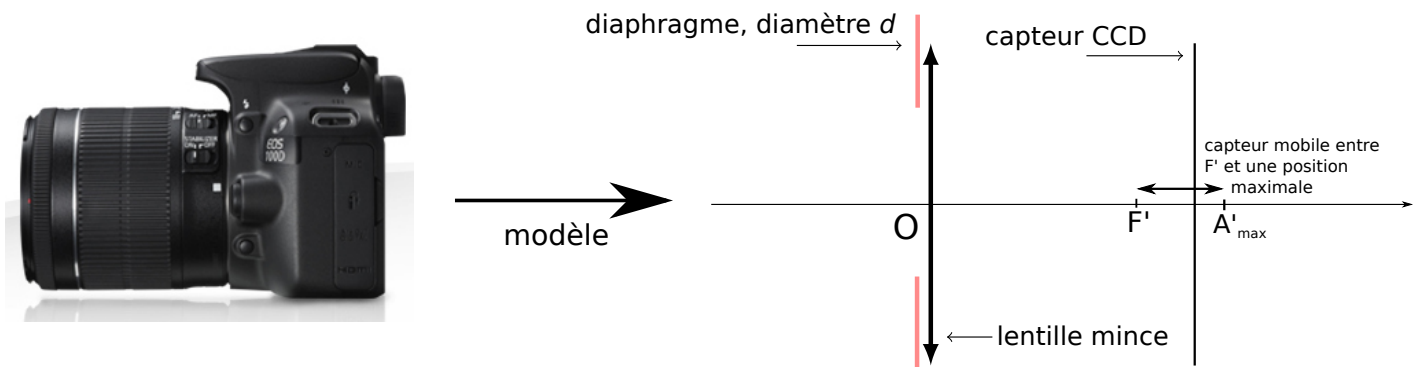


DM – Appareil photographique numérique

Un appareil photographique numérique est un objet complexe. Son objectif comporte plusieurs lentilles (jusqu'à dix ou plus), dont certaines sont asphériques, mobiles, etc. Néanmoins, les principes importants de la photographie peuvent être saisis par le modèle simple ci-contre, que nous retiendrons pour toute notre étude.



La distance focale de l'objectif peut être choisie par l'utilisateur. Supposons la fixée. Dans notre modèle, l'appareil fait la mise au point sur un objet A en déplaçant le capteur, de sorte à ce que l'image A' soit exactement sur le capteur. (En réalité ce n'est pas le capteur qui se déplace, mais l'objectif, ce qui revient au même – pour simplifier nous ferons comme l'indique le modèle.) On prendra $f' = 50$ mm.

Questions

On répondra aux questions suivantes en s'appuyant sur la description ci-dessus et sur les documents qui suivent. On raisonnera uniquement sur le modèle simple (un diaphragme, une lentille mince convergente, le capteur).

- 1 - Faire un schéma du modèle, placer un objet réel AB avec A sur l'axe optique, et tracer son image $A'B'$ sur le capteur.
- 2 - On souhaite que la mise au point puisse être effectuée pour un objet au plus loin à l'infini, et au plus proche à une distance $x = 50$ cm de la lentille (photographie macro). Faire la construction correspondant à un objet A_1 à l'infini sur l'axe optique. Où doit être le capteur ?

Puis faire la construction correspondant à un objet A_2 situé à la distance x sur l'axe optique. On appellera alors $A'_{\max}$ l'image de A_2 .

Écrire la relation entre x , f' , et $\overline{OA'}_{\max}$.

En déduire la distance $F'A'_{\max}$ sur laquelle le capteur doit être autorisé à se déplacer (faire l'application numérique).

3 - a/ On s'intéresse à la profondeur de champ. Refaire le second schéma de la page 4 (celui où l'image est une tâche), en prenant un diamètre de diaphragme plus petit : êtes-vous alors bien convaincu que plus on ferme le diaphragme, plus la tâche image de B est petite ?

b/ Maintenant et dans toute la suite, la mise au point est réglée sur l'infini. Où est alors placé le capteur ?

c/ Faire un schéma de la situation correspondante. On placera ensuite sur ce même schéma, sans changer le capteur de position, un point A à distance finie. Tracer alors les rayons issus de A et passant par les bords du diaphragme et atteignant son image A' (qui sera derrière F'). Faire ainsi apparaître la tâche image produite par A sur le capteur, et noter δ son diamètre.

Les questions qui suivent sont plus difficiles, ce n'est pas grave si vous cherchez sans trouver.

d/ Avec un peu de géométrie, trouver une relation qui donne δ en fonction de $\overline{F'A'}$, f' et d (diamètre du diaphragme). Par exemple utiliser le théorème de Thalès.

e/ On considère que l'image est nette tant que $\delta < a$, où a est la taille d'un pixel du capteur. Montrer que ceci implique $\overline{F'A'} < Na$ avec $N = f'/d$ le nombre d'ouverture. On supposera que $\overline{F'A'} \ll f'$, si bien que dans votre calcul on a $\overline{F'A'} + f' \simeq f'$.

f/ Montrer enfin que ceci se traduit par $\overline{AF} > \frac{f'^2}{Na}$.

La zone de netteté s'étend donc de $+\infty$ à A dont la position est donnée par l'expression ci-dessus. Les points plus proches que A seront flous. Ceci permet de montrer la dépendance en N : plus N est important (donc le diaphragme fermé), plus on trouve un point limite A proche et donc une zone de netteté grande.

On donne la relation de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$, ainsi que celle de Newton : $\overline{FA}\overline{F'A'} = -f'^2$.

Document 1 : ouverture du diaphragme

Plus le diaphragme est ouvert, plus il laisse passer la lumière et donc augmente l'exposition. Plus précisément, la quantité de lumière qui parvient sur un pixel donné du capteur est proportionnelle à la surface du diaphragme.

Cette quantité de lumière dépend également de la focale f' de l'objectif : plus f' est élevée, plus un pixel voit un champ de l'image restreint et moins il est éclairé.

On réunit les effets de l'ouverture et de la focale en un nombre, le nombre d'ouverture

$N = \frac{f'}{d}$ avec f' la focale et d le diamètre du diaphragme.

Ce nombre d'ouverture N peut être choisi librement dans les réglages. En plus de son influence sur l'exposition, il contrôle la profondeur de champ (document suivant).



Différentes ouvertures de diaphragme, correspondant à des nombres d'ouverture $N = 1,8, 2,8, 4$. Source : wikipédia.

Document 2 : profondeur de champ

Lorsque la mise au point est effectuée sur un objet A , alors tout les objets situés dans le plan perpendiculaire à l'axe optique passant par A seront parfaitement nets (cf 1^{er} schéma ci-dessous), alors que les autres formeront sur le capteur une tâche de diamètre plus ou moins grand (cf 2nd schéma ci-dessous).

Tant que le diamètre de cette tâche reste inférieur à la taille d'un pixel, alors l'image sera encore perçue comme nette. Ce n'est plus le cas si on considère des objets trop éloignés du plan du point A ou est effectuée la mise au point. Il y a donc une zone autour de A qui reste nette sur l'image du capteur (car les tâches images sont plus petites que les pixels), ce qui est en dehors de cette zone étant flou. Cette zone possède une certaine taille sur l'axe optique, appelée profondeur de champ.

Sur les deux photographies ci-contre, la profondeur de champ est grande sur la première (tout est net), est faible sur la seconde.

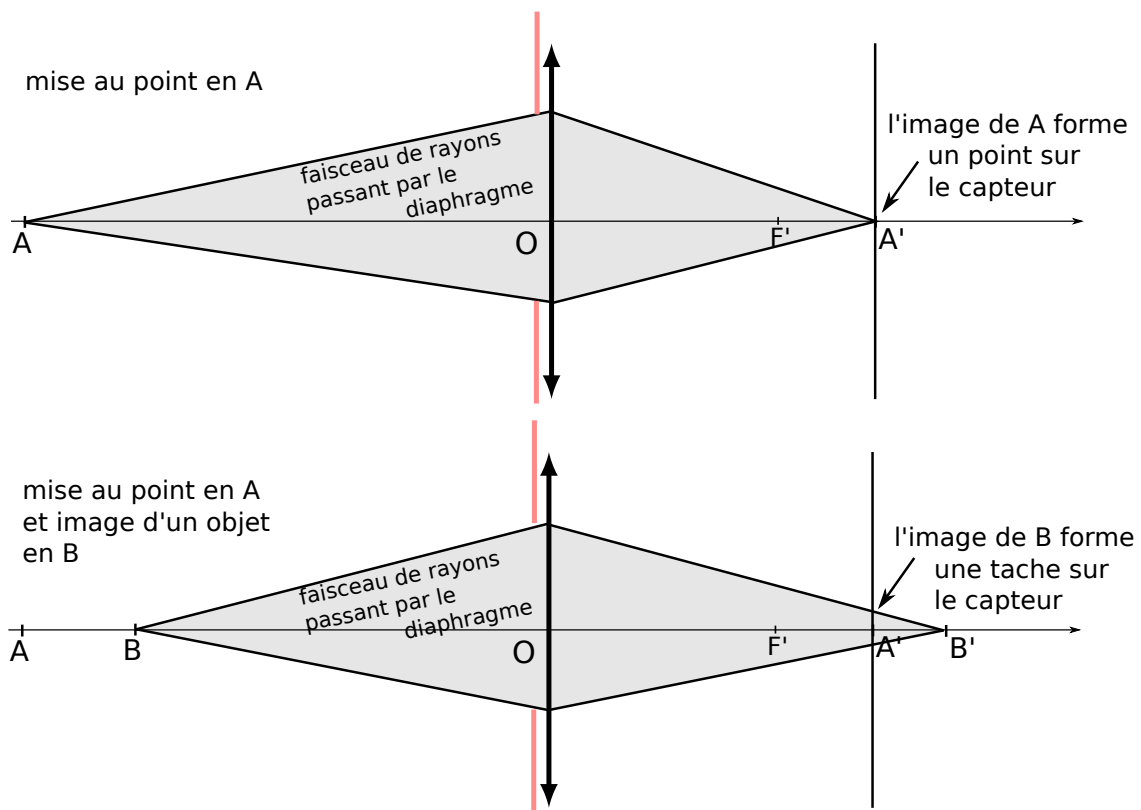
La profondeur de champ dépend de la focale et de la distance de mise au point et, ceci étant fixé, du nombre d'ouverture N . Une des questions du DM propose d'en trouver l'expression.



ouverture N grande



ouverture N petite



Sur les deux situations ci-dessus, le capteur n'a pas bougé : il est toujours sur l'image A' de A (la mise au point est sur A). Sur le schéma du bas on s'intéresse à la tache produite par un objet B placé un peu en avant de A , dont l'image B' par la lentille n'est donc pas sur le capteur. Elle forme une tache sur le capteur.

Remarque : La taille du pixel d'un appareil numérique dépend des dimensions du capteur et du nombre de pixels. Un ordre de grandeur raisonnable est de prendre pour chaque pixel un carré de côté $a = 1,0 \mu\text{m}$.