

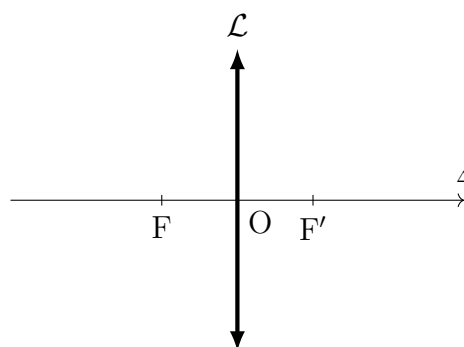
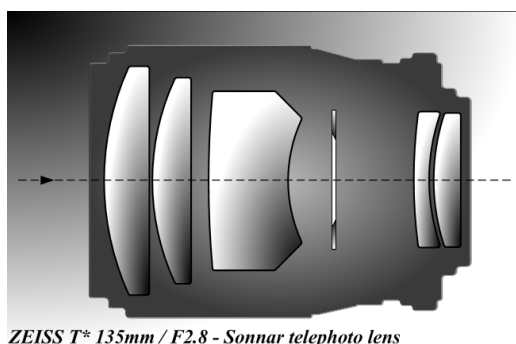
Approche documentaire : L'appareil photographique numérique

L'objectif de cette activité documentaire est l'étude des paramètres pouvant influencer la photographie d'un sujet, en particulier la focale de l'appareil, la durée d'exposition et le diaphragme.

1 Description d'un appareil photographique numérique et modélisation

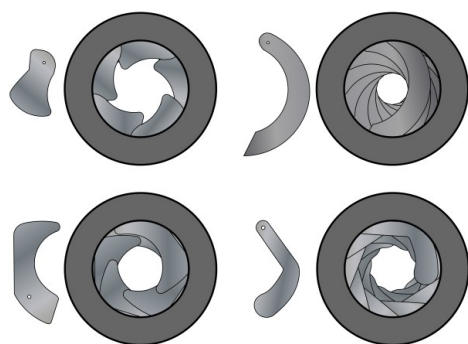
À l'instar de l'œil, l'appareil photographique numérique (ci-après noté APN) peut être modélisé assez simplement. Un tel appareil est utilisé pour prendre des clichés, images nettes d'objets situés à distance finie de l'appareil. Ainsi, comme l'œil, il est constitué d'un objectif et d'un support capable d'interpréter le signal lumineux obtenu.

L'objectif d'un tel appareil est toujours constitué d'un ensemble plus ou moins complexe de lentilles dépendant de la focale de celui-ci, et de la qualité globale de l'image désirée. Cependant, de l'objectif d'un téléphone portable d'entrée de gamme à un téléobjectif haut de gamme pour APN reflex, ce composant permet toujours de faire l'image d'un objet sur le capteur. Comme pour l'œil, il sera donc possible de modéliser l'objectif de l'APN par une lentille convergente de distance focale f' . Cette distance est appelée focale par un photographe. Il est utile de noter ici que cette lentille a une focale le plus souvent variable pour un objectif d'APN classique.

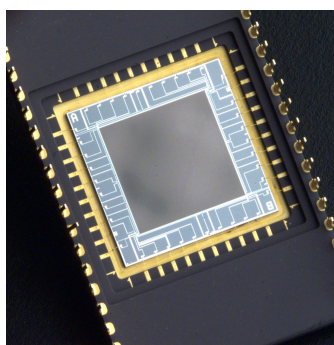


Pour limiter la quantité de lumière entrant dans l'APN, un diaphragme d'ouverture peut être contrôlé par l'utilisateur. Il prend une forme le plus souvent polygonale, et doit être placé avant la lentille dans la modélisation, de manière à respecter au mieux les conditions de Gauss. Il prend le plus souvent une forme circulaire. On note D son diamètre.

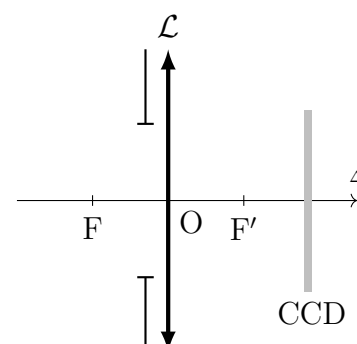
L'image ainsi produite sera captée par un capteur CCD (pour Charge-Coupled Device, ou dispositif à transfert de charge) placé à une distance d connue du centre de la lentille, orthogonal à l'axe optique.



Exemples de diaphragmes



Capteur CCD



Modélisation complète

Deux paramètres supplémentaires que peut contrôler le photographe sont la durée d'exposition τ , temps durant lequel le capteur CCD sera exposé à la lumière issue de l'objet et la distance lentille-capteur d . La bonne exposition du sujet sera donc assurée par un choix de valeurs d'ouverture du diaphragme et de temps d'exposition adéquat, et la mise au point sera effectuée par un contrôle de la netteté du sujet, puis d'un ajustement de la distance d si celle-ci n'est pas satisfaisante.

On définit le nombre d'ouverture $N = f'/D$. Ce nombre permet de parler de la quantité de lumière entrant dans un appareil indépendamment de la focale choisie, qui peut varier d'une prise de vue à l'autre.

2 Influence de la durée d'exposition

Il est possible de prendre des photographies pour des focales et des ouvertures constantes, mais des durées d'expositions différentes. Cela aura donc un impact sur l'exposition du sujet.



$f' = 50 \text{ mm}$
 $\tau = 1/160 \text{ s}$
 $N = 4$



$f' = 50 \text{ mm}$
 $\tau = 1/40 \text{ s}$
 $N = 4$



$f' = 50 \text{ mm}$
 $\tau = 1/10 \text{ s}$
 $N = 4$

Il est possible de voir que, de gauche à droite, la première photo est sous-exposée, la seconde est une belle image, correctement exposée, et la dernière est surexposée. Pour la première photographie, la durée d'exposition n'est pas suffisamment importante alors que pour la dernière, elle est trop grande.

En effet, l'amplitude d'une onde lumineuse peut être liée à un éclairement \mathcal{E} . L'éclairement est la puissance surfacique de l'onde lumineuse. Ainsi, l'énergie reçue par un pixel sera donc proportionnelle à cet éclairement et à la durée d'exposition. Ainsi, plus celle-ci est grande, plus l'énergie captée sera importante, et plus le pixel transmettra une valeur haute de luminance à l'ordinateur de l'APN, et plus la photo sera fortement exposée.

Il faut noter qu'il est aussi possible de modifier la sensibilité du capteur à l'aide du paramètre ISO. Plus le nombre ISO sera élevé, plus le capteur sera sensible. Ainsi, en pleine journée d'été, on pourra faire une photographie à 100 ISO, alors que la nuit, on préférera utiliser une sensibilité de 3200 ISO. Mais il y a une contrepartie : le bruit électronique augmente avec l'augmentation du nombre ISO, la photographie sera donc de moins bonne qualité.

3 Influence du diaphragme d'ouverture

3.1 Influence sur l'exposition

Il est aussi possible de modifier l'exposition par action sur le diaphragme d'ouverture. En effet, la puissance lumineuse passant par le diaphragme est proportionnelle à la surface de la pupille ainsi créée. Sur le pixel, on aura alors un éclairement proportionnel à la surface de la pupille : $\mathcal{E} \propto \pi D^2/4$. Ainsi, plus la pupille sera dilatée, plus l'exposition des pixels et donc de la photographie sera importante.

On retiendra alors que, pour ajuster l'exposition de la photographie, il est possible d'ajuster la durée d'exposition τ , le nombre ISO et l'ouverture du diaphragme D .

3.2 Influence sur la profondeur de champ

Il est aussi possible de faire des photographies avec toujours la même focale et la même exposition, mais en faisant varier l'ouverture du diaphragme.



$f' = 50 \text{ mm}$
 $\tau = 1/1250 \text{ s}$
 $N = 1,4$

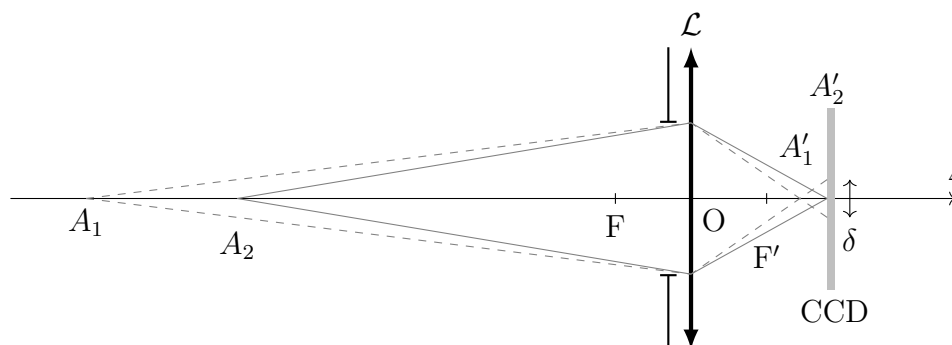


$f' = 50 \text{ mm}$
 $\tau = 1/100 \text{ s}$
 $N = 5$



$f' = 50 \text{ mm}$
 $\tau = 1/5 \text{ s}$
 $N = 22$

La mise au point est faite sur la lettre d au centre de l'image, elle sera donc toujours nette. En revanche, il est possible d'observer que, de gauche à droite, de plus en plus de lettres sont nettes. La zone de netteté dépend très largement du nombre d'ouverture choisi. Mais comment se fait-il que certaines lettres soient nettes alors que la mise au point n'est pas faite sur elles ? Pour cela, il faut étudier la figure ci-dessous.



Sur le schéma, A_2 est imagé sur le CCD, alors on dit que la mise au point est faite pour le point A_2 . En revanche, le point A_1 voit son image A'_1 se trouver en avant du CCD, et ce point formera donc une tache de diamètre δ sur le CCD, par continuité des rayons lumineux. Ce diamètre est proportionnel au diamètre du diaphragme D . Si la tache a un diamètre de l'ordre de la taille caractéristique d'un pixel, alors on dira que l'image est nette. Ainsi, plus le diaphragme sera fermé, moins les taches formées seront grandes et plus le nombre d'objets nets sera important.

On appelle profondeur de champ la zone de netteté. Celle-ci est d'autant plus grande que N est grand. Il est possible de confirmer cela avec les photographies.

4 Influence de la distance focale

4.1 Influence sur le champ angulaire

Maintenant, il est possible de faire varier la focale, le nombre d'ouverture N et la durée d'exposition étant presque constants.



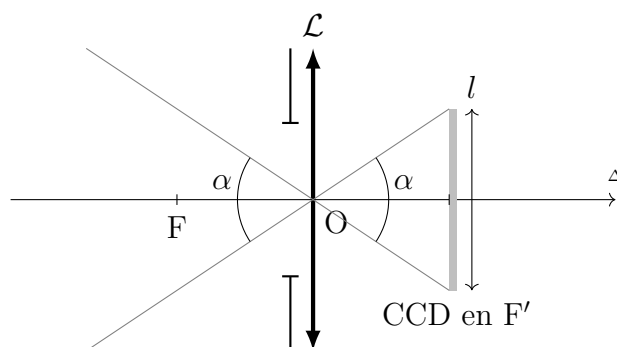
$f' = 17 \text{ mm}$
 $\tau = 1/125 \text{ s}$
 $N = 5$

$f' = 40 \text{ mm}$
 $\tau = 1/100 \text{ s}$
 $N = 5$

$f' = 50 \text{ mm}$
 $\tau = 1/100 \text{ s}$
 $N = 5$

$f' = 100 \text{ mm}$
 $\tau = 1/80 \text{ s}$
 $N = 5$

On observe sur ces photographies que, plus la focale augmente, plus le sujet au centre l'image est visible en gros plan. De même, plus la focale est courte, plus le champ angulaire visible est important. Pour comprendre ce phénomène, on trace la situation ci-dessous avec $d = f'$. Ainsi, l'image formée sur le capteur sera celle d'objets placés à l'infini.



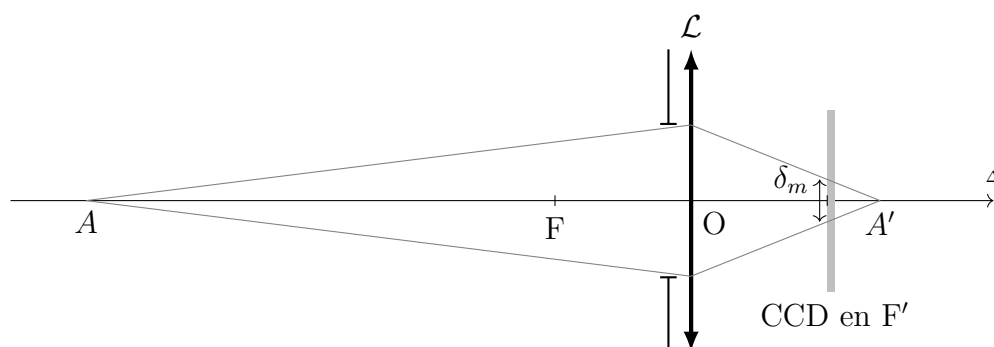
Le capteur forme une surface plane de longueur L et de largeur l orthogonale à l'axe optique. On en déduit que l'ouverture du champ de vision est alors donnée par

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{l}{2f'} .$$

Cela confirme bien que le champ de vision diminue lorsque la focale augmente.

4.2 Influence sur la profondeur de champ

Il est également possible de voir sur les photographies de la partie précédente que la profondeur de champ diminue lorsque la focale augmente. Pour expliquer cela, on considère que l'APN n'a pas changé de réglage, et qu'on observe un objet placé à une distance h de l'objectif, appelée distance hyperfocale.



À l'aide du théorème de Thalès et des formules de conjugaisons, il est possible de montrer la relation suivante :

$$h = \frac{f'D}{\delta_m} = \frac{f'^2}{N\delta_m} .$$

On a δ_m le diamètre maximal que peut avoir une tache sur le capteur et sembler nette sur l'image finale. Ainsi, tous les objets situés à une distance supérieure à h du capteur seront nets. La relation précédente donne donc la position à partir de laquelle les objets apparaîtront comme flous, et celle-ci dépend de la focale. On en déduit que plus la focale est petite, plus h est petit, donc plus la profondeur de champ sera importante.