lp 2020 – photographie

11 juin 2021
antoine chauchat & valentin dorel

niveau : l1

bibliographie

✍ *wikipedia*, **des gens cool · e · s** ⟶
✍ *optique*, **eugène echt** ⟶ pour la partie sur les diaphragmes

prérequis

- optique géométrique

expériences

☕ zoom maison

Table des matières

1 historique **2**
1.1 invention et technologie argentique . . . 2
1.2 arrivée du numérique . . . 2
1.3 caractéristiques d'un appareil photographique . . . 2

2 fonctionnement optique d'un appareil photographique **3**
2.1 modèle le plus simple d'appareil photographique . . . 3
2.2 réglages d'un appareil photographique . . . 3
2.3 focale variable . . . 3

3 diaphragmes **4**
3.1 diaphragmes de champ et d'ouverture . . . 5
3.2 pupille d'entrée et de sortie . . . 5
3.3 ouverture relative et nombre d'ouverture . . . 6

4 questions et commentaires **7**
4.1 questions . . . 7
4.2 commentaires . . . 7

introduction

aujourd'hui, virtuellement tout le monde peut prendre des photographies, notamment grâce à l'essor des smartphones. c'est donc un outil auxquels vous êtes toustes habitués. on va dans cette leçon s'atteler à comprendre non pas comment s'en servir mais comment fonctionne un appareil photographique numérique. l'objectif sera de comprendre quels sont les rôles des différents paramètres physiques mis en jeu et comment les réglages photographiques permettent de composer une image.

1 historique

1.1 invention et technologie argentique

la photographie nécessite la réunion de deux techniques : la formation d'une image dans un plan et l'enregistrement de cette image. la technologie de la chambre noire était connue depuis l'antiquité : il suffit de percer un petit trou dans une chambre noire pour voir apparaître une image inversée dans le fond blanc de la boîte.

au 18 ème siècle il était déjà connu que le chlorure d'argent noircissait à la lumière. jacques charles vers 1780 parvint à figer une silhouette mais de façon temporaire sur une surface imbibée de chlorure d'argent. dans les années 1820, nicéphore niépce améliore ce procédé pour fixer des images sur des plaques d'étain recouvertes de bitume de judée, processus qui nécessite néanmoins plusieurs jours de pose.

louis daguerre découvre le principe du développement de l'image latente ce qui permet de raccourcir le temps de pose, en 1839 il gagne le soutien du savant et député françois arago.

ainsi la date retenue pour l'invention de la photographie est le 7 janvier 1839, jour de la présentation de l'invention de daguerre, le "daguerréotype", à l'académie des sciences. cet appareil est composé d'un objectif, d'une chambre noire et l'enregistrement se fait sur des plaques de cuivre recouvertes d'argent qui sont ensuite développées.

en 1861 la première photographie couleur est réalisée à l'aide de filtres.

les plaques sont ensuite remplacées par les pellicules photographiques inventées en 1888. le premier appareil photographique instantané date de 1948 et est produit par polaroïd.

1.2 arrivée du numérique

le capteur ccd est inventé en 1969 et le premier appareil photo numérique est commercialisé en 1975 et pèse 3,6 kg. le premier appareil réellement destiné au grand public est commercialisé par casio en 1995 et le marché explose en 1997.

ces appareils sont nettement moins chers que les argentiques. il est également possible au cours de la même séance de prise de vue de changer plusieurs paramètres (sensibilité, format,...) ce qui était impossible avec le film argentique.

1.3 caractéristiques d'un appareil photographique

un appareil photographique est caractérisé par sa granularité qui quantifie le niveau de détail que peut posséder une image. elle est définie par la qualité du système optique et par le support d'enregistrement. pour un appareil numérique, la résolution (nombre de pixels par unité de surface) peut être un facteur limitant de la granularité. pour un appareil argentique, la granularité est limité par la disposition aléatoire des amas d'argent.

sur un appareil numérique, lors d'une prise de vue, trois grandeurs sont réglables par le photographe et permettent la gestion de l'exposition : la quantité d'éclairement de la surface photosensible :

- sensibilité : définit la quantité de lumière pour qu'un pixel soit passe de l'état noir au plus faible niveau de luminosité
- ouverture : limite la quantité de lumière qui entre dans le système objectif par le diaphragme d'entrée
- temps de pose : limite la quantité de lumière qui entre dans le système optique par le temps pendant lequel le diaphragme est ouvert.

> *maintenant que l'on a vu le principe général de la photographie à travers son développement historique, décrivons de manière simplifiée le fonctionnement d'un appareil photographique, en particulier on va décrire le fonctionnement d'un zoom.*

2 fonctionnement optique d'un appareil photographique

2.1 modèle le plus simple d'appareil photographique

le modèle le plus simple d'appareil photographique est le suivant : un diaphragme est accolé à une lentille que l'on peut déplacer par rapport à un écran.

schéma

on souhaite former l'image d'un sujet sur l'écran il faut donc le conjuguer par le système optique, ici une simple lentille. cet ajustement est en photographie le *réglage de la netteté*.

on peut réaliser ce modèle simple d'appareil photographique sur un banc d'optique.

on observe qu'avec seulement ces éléments on peut déjà régler les paramètres importants en photographie. le diaphragme contrôle l'ouverture et donc la profondeur de champ.

2.2 réglages d'un appareil photographique

nous allons maintenant étudier les différents réglages d'un appareil photographique.

la mise au point :

elle est contrôlée par le mouvement de lentilles de l'objectif permettant d'ajuster la zone de netteté sur la partie voulue de l'image. l'étendue de la zone sur laquelle l'image est nette est appelée profondeur de champ.

l'exposition :

on a vu dans notre modèle simple que l'on pouvait régler l'ouverture. l'ouverture est un des paramètres contrôlant *l'exposition* qui est le réglage de la luminosité de l'image. l'exposition est régulée par :

- la sensibilité iso, qui est réglée par l'amplification du signal du capteur.
- l'ouverture est le réglage du diamètre de l'objectif (de sa pupille d'entrée), elle s'exprime sous la forme f/n où f est la focale et n un nombre sans dimension appelé "nombre d'ouverture". plus le nombre d'ouverture est petit, plus le diaphragme est ouvert. l'ouverture permet de contrôler la quantité de lumière entrante ainsi que la profondeur de champ. en effet, plus le diaphragme est fermé, plus l'image sera nette pour une grande gamme de rayons et ainsi on aura une grande profondeur de champ. augmenter l'ouverture réduit la profondeur de champ.
- le temps de pose : c'est la durée pendant laquelle le capteur est exposé. il est généralement contrôlé à l'ide d'un obturateur mécanique. un temps de pose faible permet la photographie de mouvements rapides car on observe sinon un flou cinétique.

2.3 focale variable

un zoom est composé d'un objectif à focale fixe comprenant le diaphragme précédé d'un système afocal à grossissement variable. le zoom le plus simple est composé de : une lentille pour l'objectif, et un groupe afocal composé de l'association d'une lentille divergente mise entre deux lentilles convergentes.

dans cette configuration on peut essayer de calculer les focales et distances entre lentilles assurant une association afocale.

on utilise les notations indiquées sur le schéma suivant. on a :

$$\frac{1}{\overline{o_1a'}} - \frac{1}{\overline{o_1a}} = \frac{1}{f'_1} \tag{1}$$

or l'objet est à l'infini, on a donc $\overline{o_1a} = -\infty$ et ainsi $\overline{o_1a'} = f'_1$. on continue avec la deuxième lentille :

$$\frac{1}{\overline{o_2a''}} - \frac{1}{\overline{o_2a'}} = \frac{1}{f'_2} \tag{2}$$

or $\overline{o_2a'} = \overline{o_2o_1} + \overline{o_1a'} = f'_1 - d$. ainsi :

$$\frac{1}{\overline{o_2a''}} = \frac{1}{f'_2} + \frac{1}{f'_1 - d} \tag{3}$$

$$\overline{o_2a''} = \frac{f'_2(f'_1 - d)}{f'_1 + f'_2 - d} \tag{4}$$

la dernière relation de conjugaison avec le critère afocal nous donne :

$$-\frac{1}{\overline{o_3a''}} = \frac{1}{f'_3} \tag{5}$$

on a donc l'équation suivante :

$$\frac{f_2^{'}(f'_1 - d)}{f'_1 + f'_2 - d} - l = -f'_3 \tag{6}$$

avec comme conditions supplémentaires que d et l doivent être des grandeurs positives.
un schéma réalisé dans une condition afocale nous permet de trouver le grossissement du système. on a :

$$g = \frac{f'_1}{f'_3}\frac{l - f'_2 - f'_3}{f'_2} \tag{7}$$

on va réaliser ce zoom sur le banc d'optique et en étudier les caractéristiques.

en réalité les objectifs utilisés peuvent contenir plus d'une vingtaine de lentille. en effet, augmenter le nombre de dioptres permet de réduire l'angle entre les rayons marginaux et chacune des optiques. on se rapproche ainsi des conditions de gauss (cas où les aberrations géométriques sont nulles). ceci explique le grand nombre de lentilles dans des objectifs photographiques par exemple où il peut atteindre une vingtaine de lentilles.

on peut notamment réaliser deux types d'objectifs : les objectifs grand angle et les téléobjectifs. les premiers ont un faible grossissement au contraire des seconds.

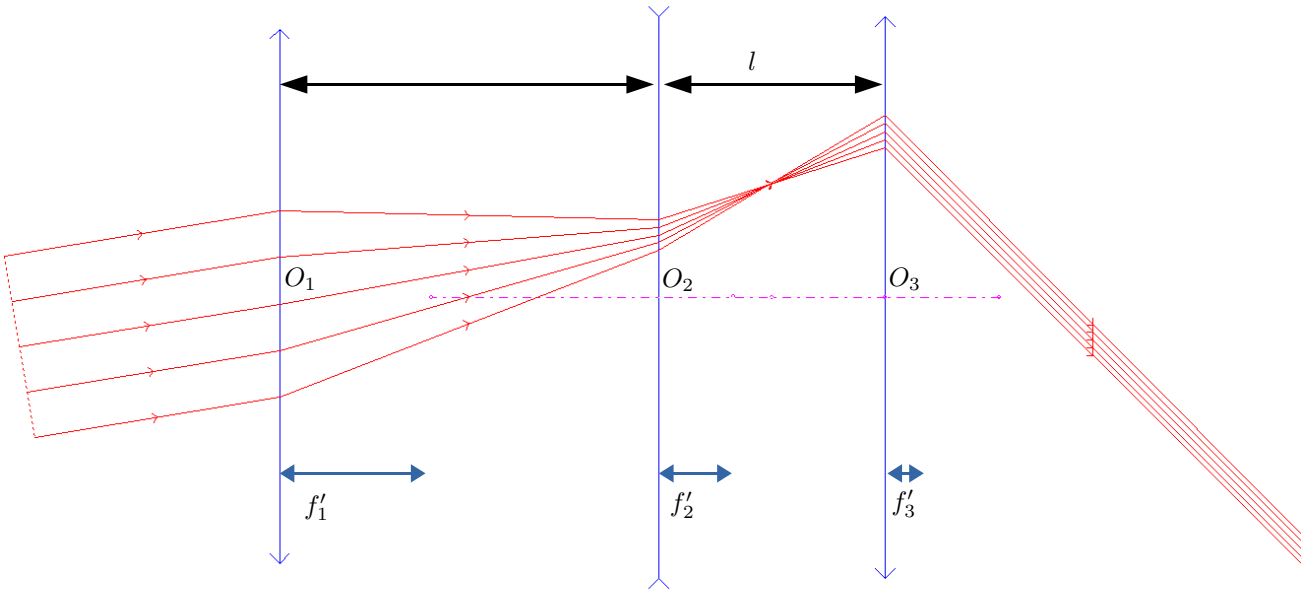

Fig. 1 : schéma du système afocal d'un système de zoom

On peut également consulter cette animation.

on a compris comment on formait une image à l'aide d'un système optique, décrivons maintenant des éléments essentiels d'un système optique qui modifie l'image : les diaphragmes.

3 diaphragmes

le diaphragme que l'on voit être fermé par l'obturateur à l'avant de l'objectif est celui dont le diamètre lors de la prise de vue définit l'ouverture et dont le réglage est important pour le rendu final de la photographie. précisons ces notions

3.1 diaphragmes de champ et d'ouverture

on peut définir deux diaphragmes important dans un système optiques

le diaphragme d'ouverture c'est l'élément qui limite l'énergie lumineuse qui peut être captée par le système optique en provenance d'un point source. du fait de la taille finie des composants optiques, il est toujours de taille finie. il est souvent déterminé par le diaphragme à iris que l'on trouve dans les appareils photographiques. ce diaphragme va jouer sur la quantité d'énergie lumineuse que reçoit chaque point de l'image

le diaphragme de champ le diaphragme de champ est l'élément qui limite la taille de l'image dans le plan d'observation. pour un appareil photographique argentique il est plus petit que la taille de la pellicule, pour un appareil numérique il est plus petit que la taille du capteur ccd.

on a vu que la gestion de l'ouverture était un paramètre important dans le compromis exposition – profondeur de champ. la gestion du champ est importante quand on désire capturer un plus ou moins grand champ. un téléobjectif aura un petit champ, un objectif grand angle au contraire un grand champ.

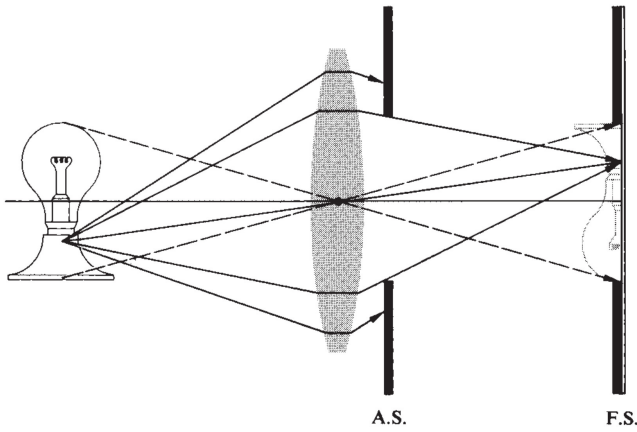

Fig. 2 : diaphragme d'ouverture (a.s.) et diaphragme de champ (f.s.).

3.2 pupille d'entrée et de sortie

en pratique, pour déterminer l'ouverture d'un système optique, le diaphragme d'ouverture, le champ et le diaphragme de champ on utilise la notion de pupille. une pupille est l'image d'un diaphragme par un système optique.

pupille d'entrée c'est l'image du diaphragme d'ouverture par les éléments optiques qui précèdent le diaphragme.

pupille de sortie c'est l'image du diaphragme d'ouverture par les éléments optiques qui suivent le diaphragme.

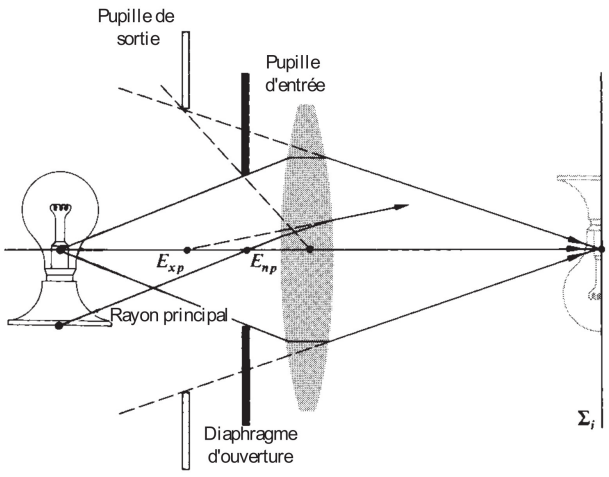

Fig. 3 : pupille d'entrée et pupille de sortie avec un diaphragme avant la lentille.

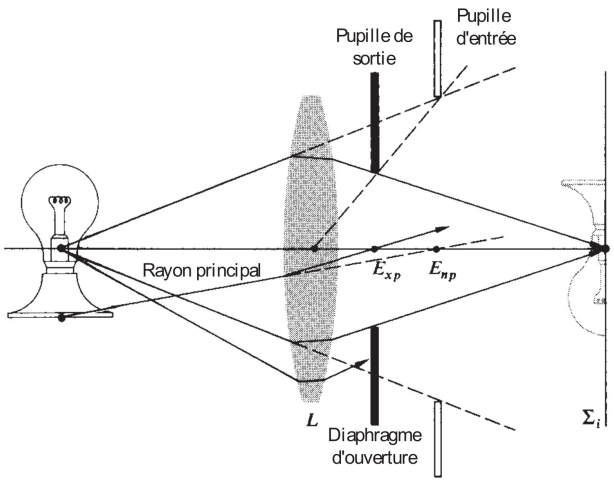

Fig. 4 : pupille d'entrée et pupille de sortie avec un diaphragme après la lentille

La pupille d'entrée correspond au diaphragme d'ouverture vue par un rayon lumineux arrivant sur le système optique, c'est elle qui définit l'angle maximal d'un rayon lumineux entrant dans le système optique et donc la quantité d'énergie lumineuse qui entre dans le système optique.

La pupille de sortie correspond au pinceau de lumière qui peut effectivement arriver sur la surface photosensible. tout rayon lumineux hors de ces deux cônes ne peut atteindre son point image conjugué.

La pupille d'entrée permet de déterminer quel diaphragme est le diaphragme d'ouverture : la pupille d'entrée est l'image qui, vue depuis le point axial de l'objet, sous-tend le plus petit angle.

La présence d'un diaphragme d'ouverture va introduire un effet de vignetage. pour un point éloigné de l'axe optique le diaphragme d'ouverture effectif est de rayon inférieur au diaphragme d'ouverture, il s'ensuit un assombrissement des bords de l'image. cet effet peut être corrigé numériquement en prenant en compte les caractéristiques du système optique. il apparaît surtout en forte ouverture.

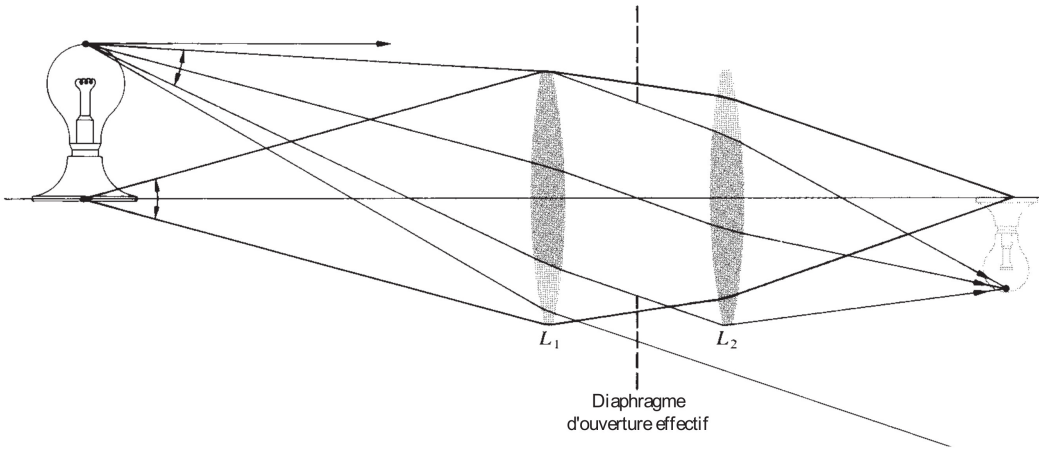

Fig. 5 : Illustration du vignetage

3.3 ouverture relative et nombre d'ouverture

Comprenons la notion d'ouverture relative et le lien qu'on lui a donné avec l'éclairement.

La quantité d'énergie collectée par l'optique est proportionnelle à la surface de celle-ci, ou plus généralement à l'aire de la pupille d'entrée. L'éclairement, densité de flux par unité de surface et par unité de temps est inversement proportionnel à l'aire de l'image. La surface de la pupille d'entrée varie avec le carré de son diamètre, la surface de l'image varie avec le carré de la focale. L'éclairement dans le plan image varie donc comme $(D/f)^2$. Ce rapport D/f est appelé *ouverture relative*, son inverse est le *nombre d'ouverture*. Un petit nombre d'ouverture correspond à une grande ouverture et donc une captation importante d'énergie lumineuse. Les valeurs typiques des nombres d'ouverture sont 1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16 and 22 etc. Cela correspond à des rapports successifs environ égal à $\sqrt{2}$ de tel sorte que moitié moins de lumière entre dans le système optique quand on passe d'un nombre d'ouverture au suivant

(l'éclairement est proportionnel au carré de l'ouverture relative). Ainsi une exposition de $1/500$ seconde à $f/1.4$ éclaire avec la même quantité de lumière qu'une exposition de $1/250$ à $f/2$.

conclusion

On a vu dans cette leçon comment historiquement la technologie a su évoluer pour atteindre aujourd'hui une démocratisation massive de la photographie. Grâce à un modèle simple on a pu comprendre le fonctionnement d'un zoom de photographie. Finalement on a pu comprendre précisément le rôle de l'ouverture, paramètre majeur de réglage pour le photographe, dans l'éclairement d'une image. On n'a pas abordé bien sur dans sa totalité la physique de la photographie, très riche. On peut penser à l'optique adaptative employé par les téléscopes en astronomie.

4 questions et commentaires

4.1 questions

-

4.2 commentaires

-