

# LP Photographie

dihya Sadi

Session 2021

## 1 Introduction

## 2 Modélisation de l'appareil photographique numérique

### 2.1 Modélisation

Elements importants :

- Diaphragme
- Objectif constitué d'un assemblage de 10 à 15 lentilles
- Obturateur : diaphragme qui s'ouvre plus ou moins longtemps
- Capteur CCD (Avant c'était un film argentique) : Constitué d'une matrice de cellule ou pixels, produisant un courant dont l'intensité va être fonction de la quantité de lumière reçue.

Association de plusieurs lentilles :

On va commencer par prendre 2 lentilles convergentes de focales différentes.

Pour trouver la focale image équivalente :

- Un rayon parallèle entrant sort en croisant le foyer image
- Les rayons entrant et sortant se croisent au niveau du plan principal image

Ainsi on peut définir la focale image

Calcul pour démonstration de la formule de Gullstrand (attention tout est algébrique ici)

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{f_2'} + \frac{1}{f_1'} - \frac{e}{f_1' f_2'}$$

Bon là on a pris un doublet de lentille convergente et on obtient un système divergent. Si on avait pris une lentille convergente et une lentille divergente on aurait obtenu un système convergent (calcul plus compliqué) Tout ça pour voir que en associant deux lentilles on peut faire varier finement la focale en les déplaçant les unes par rapport aux autres !

Dans un appareil photo l'objectif est constitué de environ 14 lentilles ! On peut faire un réglage très fin.

Par soucis de simplification on modélise tout ça par une lentille mince de focale  $f'$  variable.

## 2.2 Quelques définitions

### Mise au point :

On dit que l'on fait la mise au point sur un objet A si l'image de l'objet par l'objectif se forme sur le capteur de l'appareil. Pour faire la mise au point on déplace l'objectif par rapport au capteur.

### Champ :

Pour une mise au point donnée le champ correspond au diamètre apparent maximal sous lequel est vue la scène photographiée

### Profondeur de champ :

Pour une mise au point donnée la profondeur de champ est la distance entre le plus le plus rapproché et le point le plus éloigné de l'axe optique de l'objectif pour lesquels l'appareil fournit une image nette.

Liée à la nature discontinue du capteur (petite manip pour montrer ce qu'il en est pour l'oeil : on fait l'image d'un règle diffusante à travers une grosse lentille sphérique, puis on déplace soit la règle soit l'écran et profondeur de champ = distance sur laquelle l'image reste nette. Quand on bouge l'image, on parle de profondeur de champ image, quand on bouge l'écran, on parle de profondeur de champ objet. Car les récepteurs de l'oeil sont discontinus aussi) Notion liée à la granularité du capteur. Schéma sur slide : On appelle  $\epsilon$  la dimension caractéristique d'un élément du capteur numérique (pixel). L'intersection du faisceau lumineux issu d'un point objet A situé sur l'axe optique et du plan du capteur est une surface dont la taille caractéristique est notée  $a$ . Tout point objet A sera vu net (ie aura une image ponctuelle à l'échelle du capteur) tant que  $a < \epsilon$ . On appelle  $\epsilon$  cercle de confusion. La profondeur de champ est constituée de l'ensemble des points situés entre les points extrêmes vérifiant cette condition.

**Exposition :** Le signal fourni par une cellule sensible du capteur dépend de l'énergie qu'elle reçoit. L'échelle des gris, du noir au blanc, correspond à une énergie reçue variant entre  $E_{min}$  et  $E_{max}$  ; pour  $E \leq E_{min}$  le pixel est noir et pour  $E \geq E_{max}$  le pixel est blanc. Si trop de capteurs reçoivent une énergie inférieure à  $E_{min}$  l'image est trop noire : sous-exposée. Vice versa si trop de capteurs reçoivent une énergie supérieure à  $E_{max}$  surexposée.

## 2.3 Cahier des charges

Pour obtenir une image correcte il va falloir :

- Que l'image du sujet photographié se forme sur le capteur (mise au point).
- Que la quantité de lumière reçue par les éléments sensibles du capteur soit "convenable".

On va maintenant étudier l'influence de chacun des paramètres de l'appareil photo pour réaliser une image correcte, en utilisant la modélisation suivante

## 3 Influence du diaphragme d'ouverture

Il est d'usage de caractériser l'ouverture par ce qu'on appelle le nombre d'ouverture  $N = \frac{f'}{D}$

### 3.1 Exposition

Ce qui va conditionner l'exposition est le temps d'exposition  $\tau$ : l'énergie lumineuse reçue par le capteur est proportionnelle au temps d'exposition !

On caractérise l'onde lumineuse par son éclairement  $\epsilon$  qui est l'énergie lumineuse reçue par unité de temps et de surface, ou bien la puissance reçue par unité de surface. Elle s'exprime en  $W.m^{-2}$

La puissance passant à travers l'objectif est donc :

$$P_{obj} = \epsilon \pi \frac{D^2}{4}$$

On constate assez logiquement qu'elle augmente avec D. Puis la puissance reçue au niveau du capteur par un pixel est proportionnelle à cette puissance (dépend de la surface du capteur).

$$P_{1pixel} = \alpha P_{obj}$$

Enfin on peut exprimer l'énergie reçue par un pixel en fonction de la durée d'exposition :

$$E_{1pixel} = \alpha \epsilon \frac{D^2}{4} \tau$$

Finalement l'énergie reçue par un pixel est proportionnelle au produit :  $D^2 \tau$

Etudions quelques exemples de photos : 3 photos avec des NO différents et temps de pose différents mais avec le même produit  $D^2 \tau$ .

### 3.2 Profondeur de champ

Si on regarde mieux les 3 photos on constate que niveau netteté on a des petites différences. Comment expliquer cela ? Comment des points en dehors du plan de mise au point peuvent être nets ? Quel est le rôle du diaphragme d'ouverture ?

On reprends le schéma de la profondeur de champ.

Point A sur lequel la mise au point est faite, point B situé avant A. Par les formules de conjugaison de Newton :

$$F'B' \cdot FB = F'A' \cdot FA$$

$$\text{D'où } F'B' = F'A' \frac{FA}{FB} < F'A'$$

Ainsi la lumière issue de B fait une tâche sur le capteur qui a la forme du diaphragme d'ouverture, pour un diaphragme circulaire de diamètre D, une tâche circulaire de diamètre  $\delta$  :

$$\delta = D \frac{B'A'}{OB'}$$

Première observation : Si D est petit, le diamètre de la tâche sera petit. Si B s'éloigne de A et de l'appareil FB augmente, donc  $\delta$  augmente. Plus le point B est loin de A plus la tâche augmente.

Condition pour que B soit net sur la photographie ?  $\delta < \delta_{CCD}$  taille d'une cellule élémentaire du capteur. Bon en fait c'est inutilement contraignant parce que sur une image numérique on distingue pas réellement les pixels. Donc en fait la condition c'est plutôt  $\delta < \delta_{max}$  environ 3 fois la taille d'un pixel.

On peut faire tout de manière analogue à droite...

La profondeur de champ diminue lorsque le diamètre du diaphragme augmente.

### 3.3 Diffraction

Rappel sur la diffraction :

Dispersion angulaire par passage à travers un objet/trou dont la taille caractéristique D est de l'ordre de  $\lambda$  :  $\theta = \frac{\lambda}{D}$

Dans le cas d'une mise au point à l'infini ie si  $d = f'$  alors la tâche de diffraction sur le capteur a une dimension de l'ordre de  $\delta' = \frac{f' \lambda}{D} = N \frac{\lambda}{D}$  (faire un petit schéma au tableau)

Application numérique :

- Pour  $N=22$ , soit le diamètre d'ouverture le plus petit possible, et pour  $\lambda = 0,5 \mu m$  on calcule  $\delta' = 10 \mu m$ .
- Taille d'un pixel : le CCD 16mmx24mm. Il comporte  $15 \cdot 10^6$  pixels, si on considère qu'ils sont carrés, alors 1 pixel a un côté de  $5 \mu m$

Dans le cas du diamètre d'ouverture le plus petit la tâche de diffraction couvre tout de même quelques pixels, ce qui peut réduire la netteté de l'image.

## 4 Influence de la distance focale

### 4.1 Champ angulaire

Mise au point faite à l'infini c'est à dire que un point à l'infini a son image sur le capteur CCD qui est donc placé à une distance  $d=f'$  de l'objectif.

Forme du capteur : rectangle de largeur  $l=16\text{mm}$  et longueur  $L=24\text{mm}$ .

On définit l'angle d'ouverture du champ de vision dans un plan horizontal comme suit :

Par le calcul :

Finalement on voit qu'une grande focale implique un faible champ de vue. En pratique comme on l'a vu les objectifs sont constitués de plusieurs lentilles dont on peut modifier les paramètres pour modifier la focale. C'est en fait en ça que consiste le zoom !

Remarque :

On voit toutefois que ça dépend aussi de la taille du capteur. Pour pouvoir faire la comparaison, en pratique on définit la focale effective : Un appareil disposant d'un format  $15,8 \times 23,6$  et d'une focale de  $33\text{mm}$  a le même angle de champ qu'un appareil de focale  $50\text{mm}$  pour un format standard de  $24 \times 36$ . Focale effective est donnée pour la taille standard.

### 4.2 Profondeur de champ

On peut aller plus loin dans le calcul précédent en déterminant l'expression exacte de la profondeur de champ. On cherche la position d'un point de l'axe optique qui fait sur le capteur une tâche du diamètre exactement égal au diamètre maximum acceptable.

D'après le théorème de Thalès exactement comme tout à l'heure on a :

$$\frac{\delta_{max}}{D} = \frac{F'H'}{OH'}$$

Or on a :

- Par la formule de conjugaison de Newton :

$$F'H' = F'H' = -\frac{f'^2}{FH}$$

- Par la formule de conjugaison de Descartes on a :

$$= = +$$

D'où finalement après calcul en posant  $h = OH$  on obtient :

$$h = \frac{f'D}{\delta_{max}}$$

D'où la profondeur de champ s'écrit :

$$PC = \frac{2f'^2}{N\delta_{max}}$$

Exemple avec application numérique : Je voulais voir la fleur nette uniquement, et  $\delta_{max}$  OG... Choix de l'objectif.

## 5 Conclusion

Les photos que j'ai prises je les ai prises hier soir dans ma maison et il faisait assez sombre... Pourtant j'ai quand même pu avoir une luminosité raisonnable parce que j'ai joué sur ce qu'on appelle les ISO. Sensibilité de l'appareil.