Appareil Photographique
9 mars 2016

I Introduction

Un appareil photographique est un instrument objectif, il donne d'un objet réel une image réelle qui se forme soit sur une pellicule (appareil argentique) soit sur un capteur CCD (appareil numérique).
Il possède un objectif qui peut être composé d'une dizaine de lentilles. On note f' la distance focale image de l'objectif.
On distingue différents modèles selon l'objectif :

- les grands angles $f' \simeq 25mm$
- les standard $f' \simeq 50mm$
- les téléobjectifs $f' \simeq 200mm$
- les zooms (à focale variable) $f' = 18 - 200mm$

II Propriétés

1 Angle de champ

On considére la photographie d'un paysage. l'objet est considéré à l'infini. L'image se forme en F'. Le capteur est donc placé en F'
Le champ objet est donc caractérisé par un angle. Le champ image est lui limité par la taille du capteur en général 24×36 mm. Si d est la taille du capteur. On a (voir figure 1 $\alpha = \arctan\left(\frac{d/2}{f'}\right)$ et donc $\Omega = 2\arctan\left(\frac{d}{2f'}\right)$
Plus la focale f' est petite et plus l'angle Ω est grand. Un objectif de 50 mm à un champ équivalent à celui de l'oeil.
En général on utilise pour la valeur de d la diagonale du capteur soit $d = \sqrt{24^2 + 36^2}$.
Pour que l'image ne perde pas de luminosité il faut que le capteur soit inclus dans le champ de pleine lumière. Le diamètre du champ de pleine lumière image , $\Phi'_{pl} = d$.

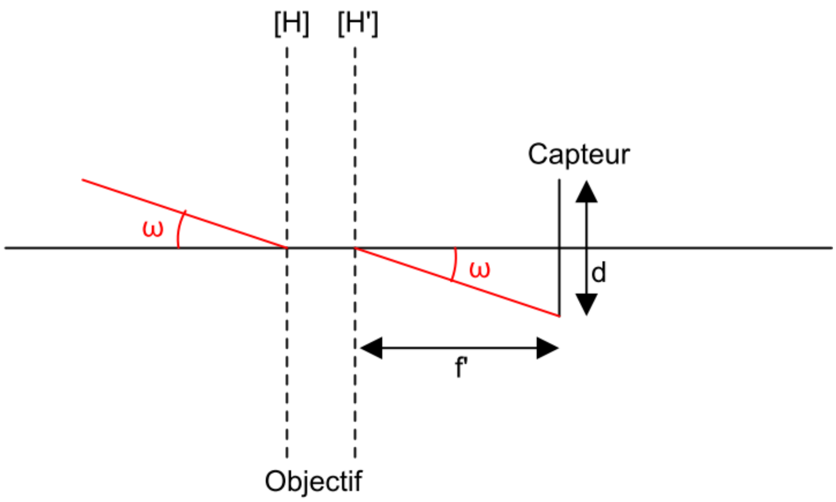

FIGURE 1 – Champ de pleine lumière

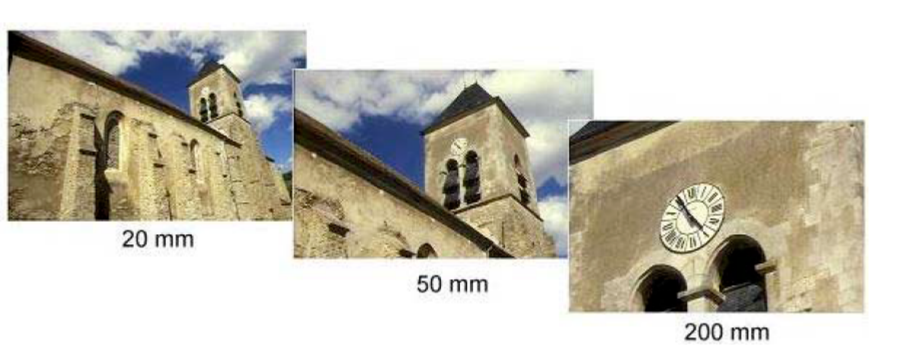

FIGURE 2 – Photos prises du même point de vue avec différentes focales

2 grandissement

– Si l'objet est à l'infini on obtient facilement sa taille en fonction de son diamétre apparent θ on a $A'B' = f' \tan(\theta)$.
– Si l'objet est à distance finie on peut utiliser les relations classiques :
$\gamma_t = \frac{\overline{H'A'}}{\overline{HA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'} = -\frac{f}{\overline{FA}}$

Dans tous les cas, plus la focale est grande et plus le grandissement est important.

3 nombre d'ouverture

Les objectifs sont munis d'un diaphragme, $D.O$, de taille variable. On note Φ_{Pe} le diamétre de la pupille d'entrée correspondante à $D.O$.
Le nombre d'ouverture, N, est le rapport de la distance focale f' sur ce dia-

mètre :

$$N = \frac{f'}{\Phi_{pe}} \tag{1}$$

Plus ce chiffre est petit et plus le diaphragme est ouvert et donc plus il y a de lumière à pénétrer dans l'appareil.

III Champs longitudinaux

1 Profondeur de champ

Cette fois l'objet est à une distance finie.
On considére 3 objets A_0B_0, AB, A_1B_1 sur l'axe optique. La mise au point est faite sur AB qui forme donc une image nette sur le capteur. On cherche les positions extrêmes des objets A_0B_0 et A_1B_1 pour que leurs images puissent être considérées comme nettes.
L'image de l'objet sera considérée comme nette à condition que la tache de

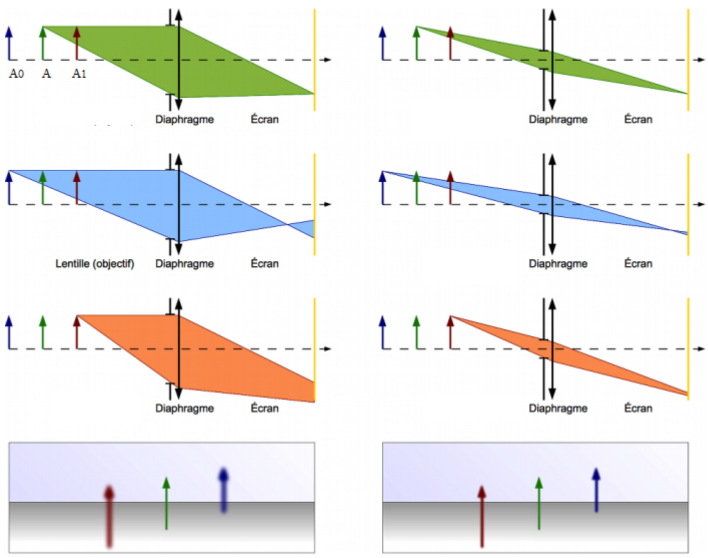

FIGURE 3 – Illustration de la notion de champs longitudinaux

diffusion créée par un de ces points est suffisamment petite. La taille de la tache de diffusion va dépendre de la distance focale, de l'ouverture du diaphragme.Mais la profondeur de champ dépendra également de la résolution du capteur.

1.1 Capteur et film

films : les pellicules sont constituées entre autre d'une émulsion faite de petits grains de bromure d'argent photosensibles et de gélatine. Les grains sont répartis de façon désordonnée. La grosseur des grains défini la sensibilité et la résolution de la pellicule.

Norme ISO	Sensibilité	Granulation	Contraste
25 ISO	peu sensible	grain trés fin	contrasté
32 ISO			
50 ISO			
100 ISO	moyennement sensible	grain fin	moyennement contrasté
125 ISO			
200 ISO			
400 ISO	sensible	grain plus gras	peu contrasté
1 000 ISO	ultra sensible	gros grain	trés peu contrasté

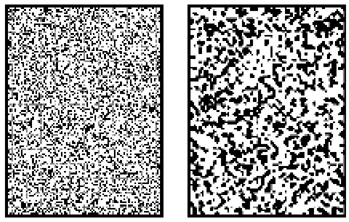

Figure 4 – exemples de sensibilité de films noir et blanc

capteur : Les capteurs sont constitués de pixels ordonnés qui convertissent sous forme numérique l'information lumineuse reçue. La taille des pixels, ou le nombre de pixels, est directement liée, à la résolution.

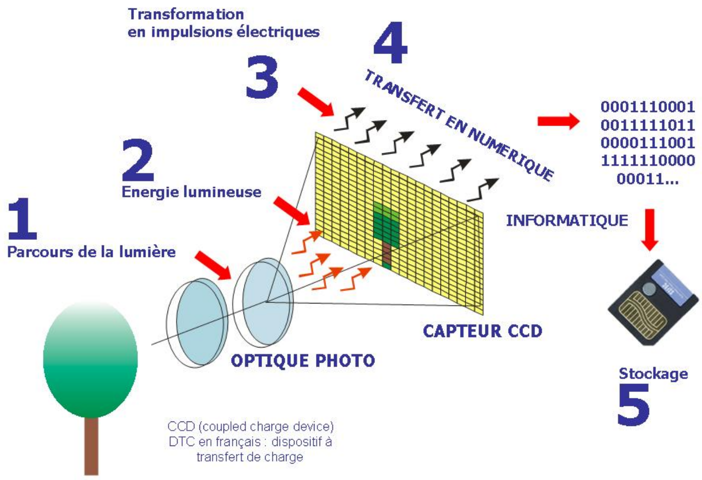

Figure 5 – Principe d'une photo numérique

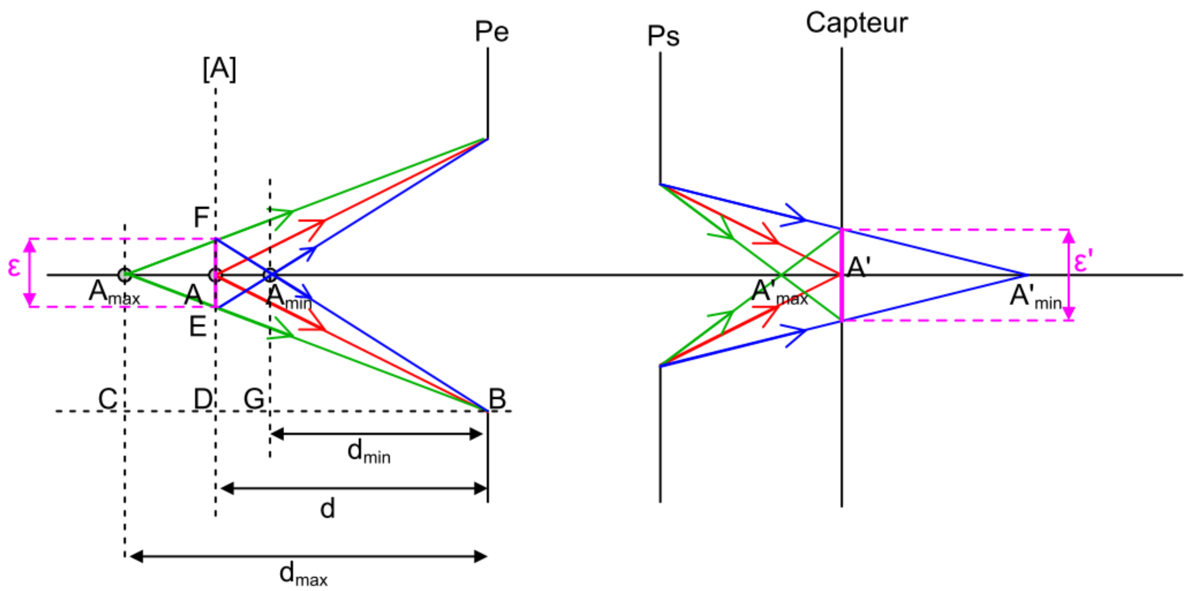

FIGURE 6 – Détermination de la profondeur de champ $p = d_{max} - d_{min}$

2 Critère de netteté

L'image d'un point n'a pas besoin d'être réellement ponctuelle. On considère qu'elle est nette si la tache de diffusion associée à ce point n'excède pas la taille d'un grain ou d'un pixel.

3 détermination de la profondeur de champ

On note ϵ' la taille du grain ou du pixel de la pellicule. La mise au point est faite sur le plan objet $[A]$. On note ϵ la taille de l'objet conjugué dans le plan $[A]$, voir figure 6. On a $\gamma_t = \frac{\epsilon'}{\epsilon}$
On défini la profondeur de champ $p = d_{max} - d_{min}$.

3.1 Calcul de d_{max}

On considère les deux triangles (A_{max},C,B) et (E,D,B).

$$\frac{A_{max}C}{ED} = \frac{BC}{BD}$$

La relation de Thalès : $$\frac{\frac{\Phi_{Pe}}{2}}{\frac{\Phi_{Pe}}{2} - \frac{\epsilon}{2}} = \frac{d_{max}}{d}$$

$$d_{max} = \frac{\frac{\Phi_{Pe}}{2}}{\frac{\Phi_{Pe}}{2} - \frac{\epsilon}{2}} \cdot d$$

3.2 Calcul de d_{min}

On considère les deux triangles (F,D,B) et (A_{min},G,B).

La relation de Thalès :
$$\frac{A_{min}G}{FD} = \frac{GB}{BD}$$
$$\frac{\frac{\Phi_{Pe}}{2}}{\frac{\Phi_{Pe}}{2} + \frac{\epsilon}{2}} = \frac{d_{min}}{d}$$
$$d_{min} = \frac{\frac{\Phi_{Pe}}{2}}{\frac{\Phi_{Pe}}{2} + \frac{\epsilon}{2}} \cdot d$$

3.3 Profondeur de champ

$$p = d_{max} - d_{min}$$
$$p = \left(\frac{\frac{\Phi_{Pe}}{2}}{\frac{\Phi_{Pe}}{2} - \frac{\epsilon}{2}} - \frac{\frac{\Phi_{Pe}}{2}}{\frac{\Phi_{Pe}}{2} + \frac{\epsilon}{2}} \right) d$$

En mettant au même dénominateur. On obtient au final

$$p = \frac{2\Phi_{Pe} \cdot \epsilon}{\Phi_{Pe}^2 - \epsilon^2} \cdot d \qquad (2)$$

3.4 Remarques

On peut remarquer que la profondeur de champ :
- augmente quand la distance de mise au point d augmente.
- augment avec ϵ' la taille des grains.
- augmente quand Φ_{Pe} diminue, c'est à dire quand N le nombre d'ouverture augmente.
- augmente quand la distance focale diminue.

4 Distance Hyperfocale

On cherche à déterminer les paramètres à imposer à l'appareil pour que l'image soit nette de d_{min} à l'infini. On a établit que $d_{max} = \frac{\frac{\Phi_{Pe}}{2}}{\frac{\Phi_{Pe}}{2} - \frac{\epsilon}{2}} \cdot d$

Pour avoir $d_{max} \to \infty$ il faut $\Phi_{Pe} = \epsilon$.
$$\epsilon = \frac{\epsilon'}{|\gamma_t|}$$
$$\gamma_t = -\frac{f}{\overline{FA}} = \frac{f'}{\overline{FA}}$$

On note E le point de l'axe correspondant à Pe
$$\overline{FA} = \overline{FE} + \overline{EA} = \overline{FE} - d$$
$$\overline{FA} = l - d$$

Où $l = \overline{FE}$ est la distance entre le plan focal objet de l'objectif et la Pupille d'entrée.
$$\epsilon = \epsilon' \cdot \frac{|l - d|}{f'}$$

Comme $d > l$, $|l - d| = d - l$ $\quad \epsilon = \frac{d - l}{f'}\epsilon'$ On note D_h la distance d (la distance de mise au point) pour laquelle $\epsilon = \Phi_{Pe}$

$\frac{D_h - l}{f'} = \frac{\Phi_{Pe}}{\epsilon'}$

En utilisant le nombre d'ouverture $N = \frac{f'}{\Phi_{Pe}}$ on obtient finalement

$$D_h = \frac{f'^2}{N \cdot \epsilon'} + l \tag{3}$$

D_h est alors appelée distance hyperfocale. Pour une focale donnée et un nombre d'ouverture donné c'est la distance minimum sur laquelle la mise au point doit être faite pour que même les objet à l'infini paraissent nets. Ainsi pour les appareils photo basiques de distance focale de l'ordre de 10 mm avec un nombre d'ouverture $N = 10$ les photos sont nettes de 50 cm à l'infini.