
PHOTOGRAPHIE

Niveau

Commentaires du jury

- LOL

Bibliographie

- Femto physique
- Hprepa Optique MPSI-PCSI : des trucs sur la photo macro et le téléobjectif p. 114
- J'intègre, physique tout-en-un MPSI-PTSI, P.177
- Hetch optique page 235

pré-requis

- Optique géométrique

Expériences

—

Table des matières

1	Description d'un appareil	2
1.1	Objectif et mise au point	3
1.2	Diaphragme d'ouverture	5
1.3	Champ et Profondeur de champ	6
1.3.1	Champ	6
1.3.2	profondeur de champ	6
2	Améliorations optiques	8
2.1	Zoom et focale réglable	8
2.2	Correction des aberrations	8
2.3	Téléobjectif/macrophotographie	10
3	Captation de l'image	11
3.1	Capteur CCD/CMOS, pixel	11
3.2	Argentique (nul)	11
3.3	Stockage numérique (vraiment à la fin quoi)	11

Introduction

La photographie est omniprésente dans nos vies aujourd'hui.

L'ancêtre de l'appareil photographique moderne est un système connu sous le nom de camera obscura, qui consiste simplement en une chambre noire percée d'un petit trou sur l'avant (le sténopé). La lumière entrant par

le sténopé projette la scène extérieure sur la paroi opposée de la chambre. Ce principe était déjà connu d'Aristote avant d'être repris par certains savants arabes du haut Moyen Âge. Alhazen devait par exemple se servir d'une camera obscura pour observer des éclipses de Soleil. En disposant un film photosensible sur la zone de projection, la camera obscura devient un appareil photographique, où l'on fixe l'image réalisée par un système optique. Le procédé photographique fut mis au point en 1826 par le Français Joseph Nicéphore Niepce (1765-1833). Celui-ci devait réaliser le premier cliché de l'histoire en exposant pendant 8 heures une plaque étamée dans une chambre noire en bois. Typiquement cela marche bien pour un trou (le sténopé) de 0,5 mm de diamètre et situé à 25 cm de la plaque photosensible

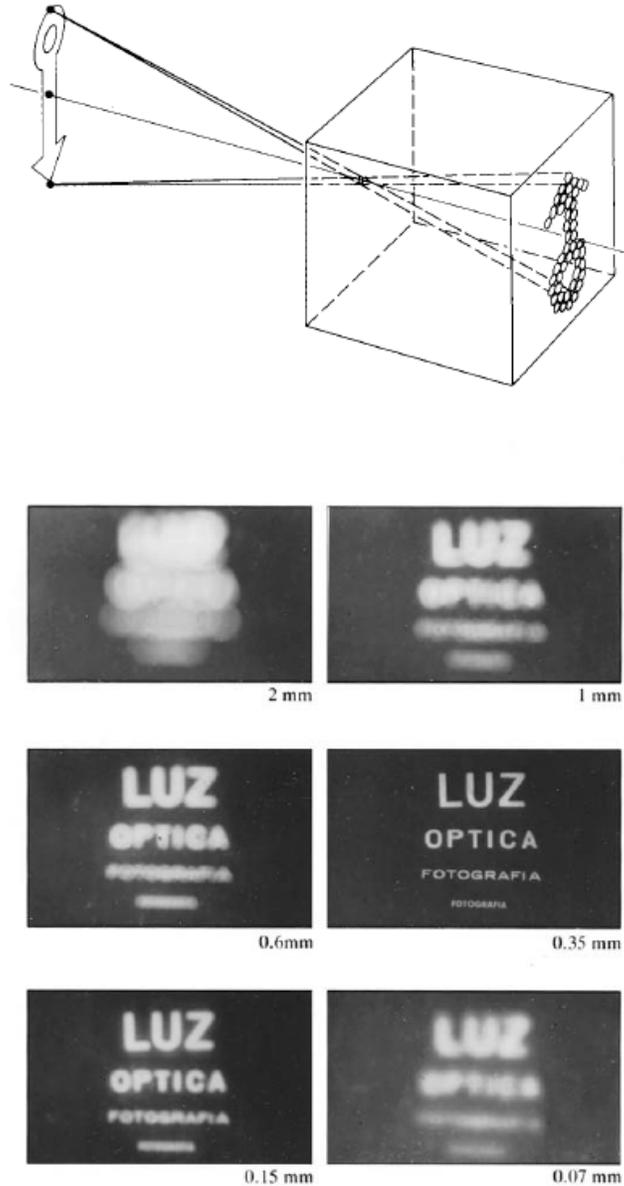


FIGURE 1 – Ancêtre de l'appareil photo Hetch On insiste sur le fait qu'il n'y a pas de focalisation

1 Description d'un appareil

On projette le schéma de l'appareil. Il y a plusieurs lentilles dans l'objectif. Le diaphragme à iris contrôle à la fois le temps d'exposition et l'ouverture. On utilise un pentaprisme (prisme à 5 faces) pour ramener la lumière vers l'utilisateur-ice. Un miroir pivotant permet de voir ce que l'on va photographier avant de le photographier.

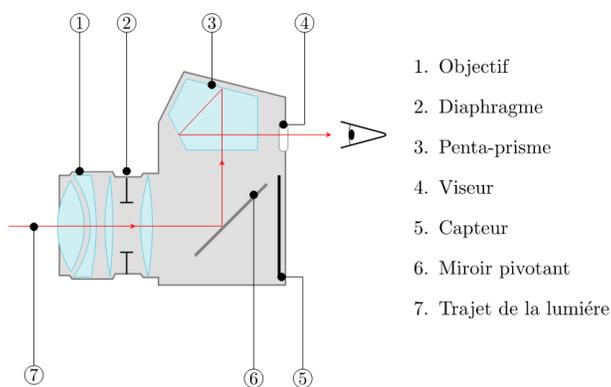


FIGURE 2 – Appareil photo (femto-physique)

Lorsque l'utilisateur appuie sur le déclencheur, le diaphragme se ferme, le miroir bascule. Puis le rideau protégeant le film s'ouvre, de même que le diaphragme (durant le temps choisi) : c'est l'étape d'exposition du film (ca peut être le capteur en général) Enfin tout revient en place

1.1 Objectif et mise au point

Pour commencer, on va approximer l'objectif à une lentille mince convergente unique de focale f' . Afin d'obtenir une image correcte, il faut que l'image de l'objet photographié se forme sur la surface d'un capteur, et que la quantité de lumière entrante soit suffisante. La première condition est la condition de mise au point.

Dans l'appareil, le capteur est fixe : on doit bouger la lentille pour que l'image soit nette. On voit bien que la position du capteur par rapport à l'objectif est importante.

Aller voir ce site pour parler de focale.

En photographie, la distance objectif-capteur est appelé le **tirage**. On distingue 2 possibilités selon la position de l'objet :

- L'objet est à l'infini : on doit placer le capteur dans le plan focal image de la lentille. On parle de tirage minimal.
- Objet à distance finie. Le capteur doit être situé plus loin que f' . Comme le capteur est fixe, on doit déplacer l'objectif : c'est ce qu'on fait en le tournant.

Lien entre tirage et distance à l'objet : soit L la distance à l'objet observé, t la différence entre le tirage et le tirage dans le cas d'un objet à l'infini (f'). t désigne la longueur de laquelle il faut déplacer l'objectif par rapport à la position " ∞ ".

Dans le cas où $L = \infty$, $t = 0$.

Sinon, on applique la relation de conjugaison de Descartes (qui se démontre en faisant des théorèmes de Thalès en papillon...) :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

On obtient

$$\overline{OA'} = \frac{f' \overline{OA}}{f' + \overline{OA}}$$

avec $\overline{OA} = -L + f' + t$ négatif!

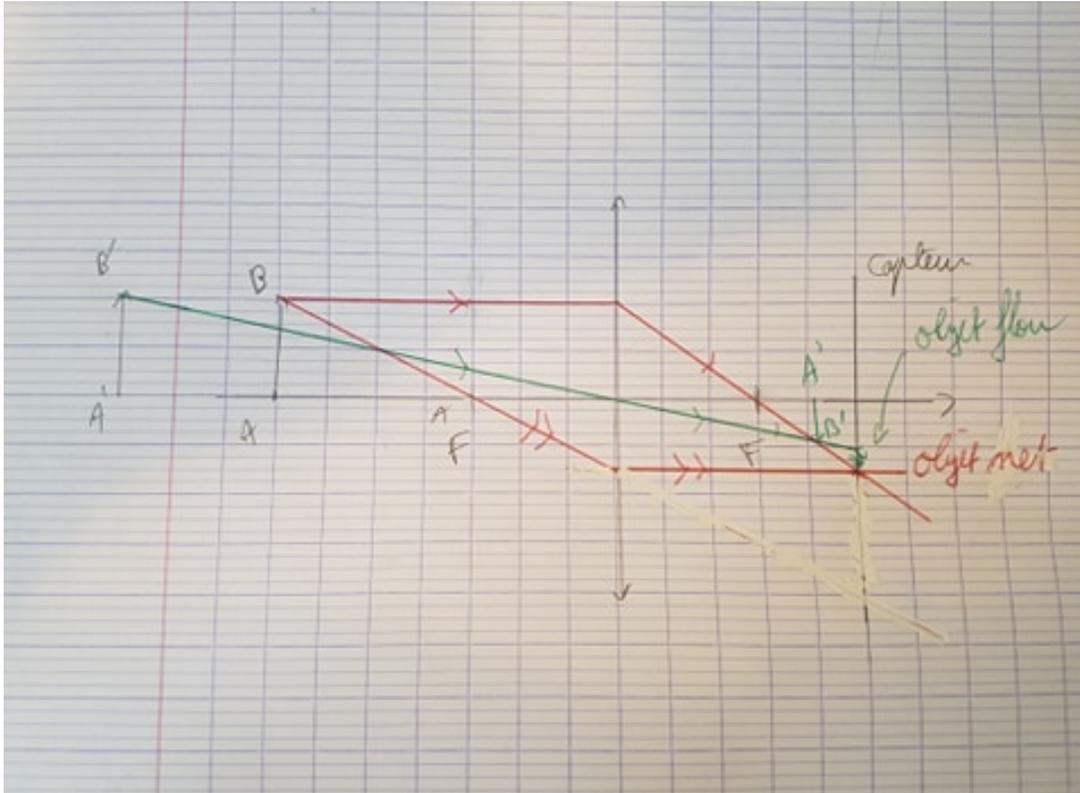


FIGURE 3 – rayons lumineux pour 1 lentille convergente.



FIGURE 4 – Photos avec différentes mises au point.

$$\begin{aligned}
 OA' &= \frac{f'(f' + t - L)}{2f' + t - L} \\
 &= \frac{f'(f' + t - L + f' - f')}{2f' + t - L} \\
 &= f' - \frac{f'^2}{2f' + t - L} \\
 &= f' + \underbrace{\frac{f'^2}{L - 2f' - t}}_t
 \end{aligned}$$

Dans un appareil photo commun, on a $t_{max} \approx 5.5\text{mm}$ (on est limité par la taille des choses), et f' de l'ordre de 5cm.

On en déduit que

$$t = -\frac{f'^2}{2f' + t - L} \simeq \frac{f'^2}{L}$$

Ce qui donne une distance minimale d'observation de 45cm (on vérifie les hypothèses réalisées).

Importance des conditions de Gauss : L'aplanétisme est très important pour que l'image soit nette partout, car on fait l'image d'un plan sur un plan. *L'aplanétisme est donné par la condition d'Abbe (pas forcément à évoquer) :*

$$\bar{AB} \sin \alpha = \bar{A'B'} \sin \alpha'$$

En vrai on est plutôt en stigmatisme approché. On verra dans la suite comment obtenir des images nettes sur une certaine profondeur.

1.2 Diaphragme d'ouverture

Le diaphragme a plusieurs rôles :

- C'est lui qui limite le champ : Il a une taille fini (variable)
- Il limite le temps d'exposition, c'est à dire le temps où le capteur est effectivement exposé à la lumière.

Temps d'exposition : Le temps d'exposition correspond au temps où le diaphragme est ouvert. Si le diaphragme n'est pas ouvert assez longtemps, alors on dit que la photographie est sous exposé. Pas assez de lumière n'est capturer par le détecteur. On joue alors sur le temps d'exposition pour que la luminosité soit suffisante.



Figure 5.45 –
 $\tau = \frac{1}{4}\text{s}$



Figure 5.46 –
 $\tau = \frac{1}{30}\text{s}$



Figure 5.47 –
 $\tau = \frac{1}{125}\text{s}$

FIGURE 5 – Temps d'exposition

Bien sûr le temps l'exposition nécessaire à une photo, dépend à la fois de la sensibilité du capteur et de la taille dont s'ouvre le diaphragme.

Considérons une situation donné fixe (toujours le même éclairage extérieur), le flux lumineux qui passe à travers le diaphragme est proportionnelle à sa surface, donc à R^2 . **L'éclairement** du récepteur (c'est à dire l'énergie du rayonnement qu'il reçoit par unité de surface et de temps) est inversement proportionnelle à la distance entre l'ouverture et le récepteur c'est à dire environs f' . L'éclairement est donc proportionnel au carré de l'ouverture relative : $\frac{2R}{f'}$. On utilise le plus souvent le **nombre d'ouverture** :

$$N.O. = \frac{f'}{2R}$$

En générale, on a sur les bagues de appareille une progression géométrique de raison $\sqrt{2}$ du nombre d'ouverture. (1-1.4-2-2.8-4...22) l'éclairement est donc divisé par 2 en passant d'un nombre d'ouverture au suivant.

D'autre part le flux lumineux reçu par le détecteur est proportionnel au temps de pose. Don il est finalement proportionnel à

$$F \propto \frac{\tau}{N.O.}$$

Pourquoi cela change t'il la photo ? Un pixel sera associé à une certain niveau de gris si il est exposé à une certaine énergie. Si l'énergie reçu est trop faible : le pixel ne détecte rien et cela se traduit par du noir. Puis entre E_{min} et E_{max} on a différents niveau de gris, puis le pixel sature : on peut lui apporter plus d'énergie il ne pourra donner une valeur plus haute.

Il faut choisir en fonction de la luminosité ambiante.

Peut on diminuer indéfiniment le diamètre de diaphragme ?

Il y a un phénomène de Diffraction. On l'a vu au tout début avec l'ancêtre de la photographie. Si le trou est trop petit alors cela diffracte. An a une dispersion angulaire de l'ordre de λ/D Ainsi au lieu de n'avoir à chaque point de l'objet qu'un point image, on a une tache dite tache d'Airy. $\rho = 1,22 \frac{\lambda f'}{D} = N\lambda$ Pour $N = 22$ et $\lambda = 0.5\mu m$ on a $\rho \simeq 10\mu m$

Par exemple on prend un capteur rectangle de 16 mm par 24 mm. Il comporte 15×10^6 pixels, carrés de côté $\sqrt{\frac{16 \times 10^{-3} \times 24 \times 10^{-3}}{15 \times 10^6}} = 5\mu m$ la tache de diffraction couvre plusieurs pixels. Il peut exister un problème si on veut séparer deux détails proche.

Code Rayleigh

1.3 Champ et Profondeur de champ

1.3.1 Champ

Le champ caractérise ce qui est effectivement visible. Illustration du champ sur site

1.3.2 profondeur de champ

Les objets qu'on veut photographier ne sont pas planaires, c'est là qu'intervient la profondeur de champ.

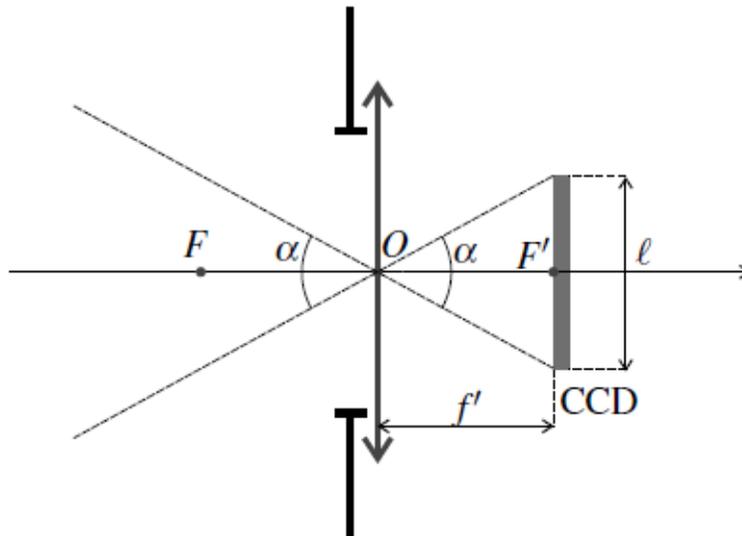


FIGURE 6 – Champ

Calcul dans le J'intègre p182 : on trouve

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{l}{2f'}$$

Typiquement en passant d'une focale de 24 à 70 mm on passe d'un champ caractérisé par un angle $\alpha = 37$ à 13°

La profondeur de champ est la plage de distances objet-objectif pour lesquelles l'image perçue sur la pellicule est nette.

Pour des objets qui ne sont pas sur le même plan, on n'obtient pas un point mais une tâche-image. MAIS si cette tâche est inférieure au grain de la pellicule ou à la résolution de l'oeil ou à un pixel, on ne verra qu'un point. La profondeur de champ quantifie ça

Go calcul potentiel : J'intègre physique tout en un MPSI page 177 (180?). on trouve

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

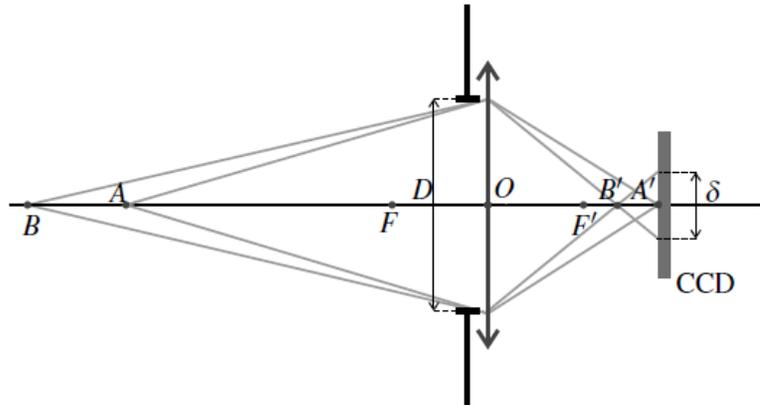


FIGURE 7 – Profondeur de champ

avec le théorème de Thalès.

- Plus D est petit est plus δ est petit et donc on verra un point et pas une tache.
- D'autre part, si B s'éloigne de A et de l'appareil, FB augmente, donc, d'après la relation de Newton, $F'B'$ diminue. Ainsi OB' diminue et $B'A'$ augmente, ce qui fait que δ augmente. Plus le point B est éloigné derrière A, plus le diamètre de la tache est grand.

Pour que B soit net, il suffit que δ soit plus petit qu'une distance δ_{max} qui dépend des conditions de visualisation de la photographie et qui est en gros de l'ordre de 3 fois la taille d'un pixel.

Distance hyper focale

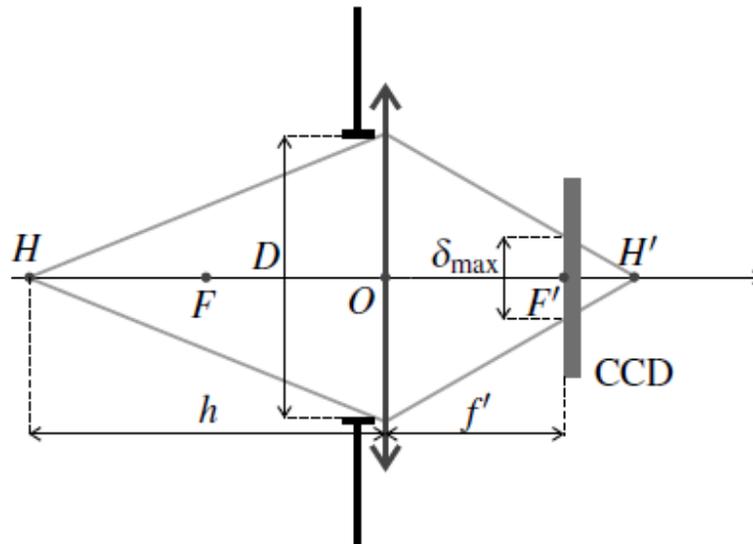


FIGURE 8 – distance hyper focale

Go calcul : J'intègre physique tout en un MPSI page 177.

— On trouve H' avec les lois de l'optique géométrique

— on trouve δ_{max} avec Thalèse

On trouve

$$h = HO = \frac{f'D}{\delta_{max}} = \frac{f'^2}{N\delta_{max}}$$

Plus h est petit et plus la profondeur de champ est grande h est appelé distance **Hyper focale**

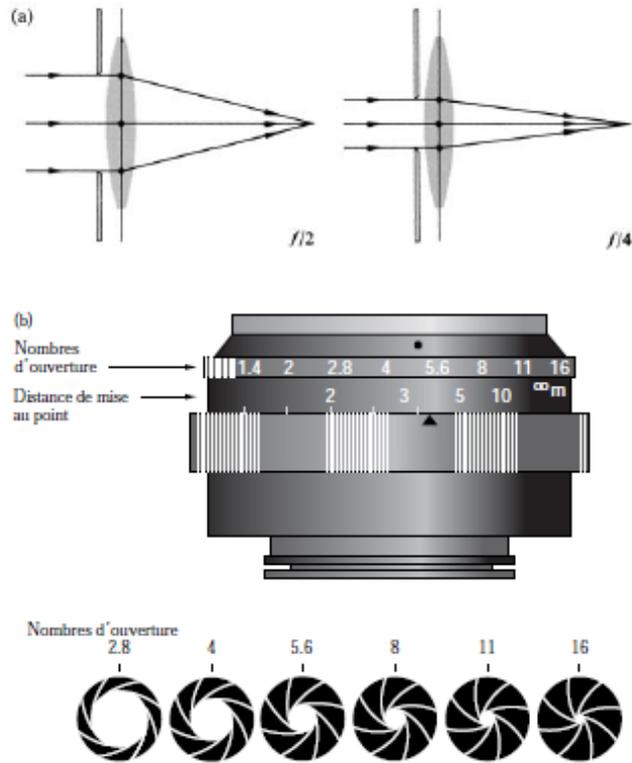


FIGURE 9 – Hetch

2 Améliorations optiques

2.1 Zoom et focale réglable

Pour faire un zoom comment fait on ? 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.

Gif wikipedia Animation

Calculons le grossissement en fait il faut se rendre compte que les images intermédiaires $A'B'$ et $A''B''$ sont entièrement positionné par le fait que l'on veut que le système soit afocale. Donc on n' plus qu'à considérer le gradissement de la lentille divergente :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{A''B''}{f_3'} \frac{f_1'}{A'B'} = \frac{f_1'}{f_3'} \frac{O_2A''}{O_2A'} = \frac{f_1'}{f_3'} \frac{l - f_3'}{f_1' - d}$$

Voir les commentaires de la leçon de Valentin : [here](#)

2.2 Correction des aberrations

Aberration chromatiques Si on observe des objets avec une lumière non monochromatique, nous allons observer des aberration chromatique, chaque "rayon de couleur différente" va converger à différents endroits : Ceci est du au fait que le verre est un milieu dispersif qui suit la loi de Cauchy :

$$n = n_0 \left(1 + \frac{B}{\lambda^2} \right)$$

On peut corriger les aberrations chromatiques avec des doublets/achromat : En effet pour une lentille mince la

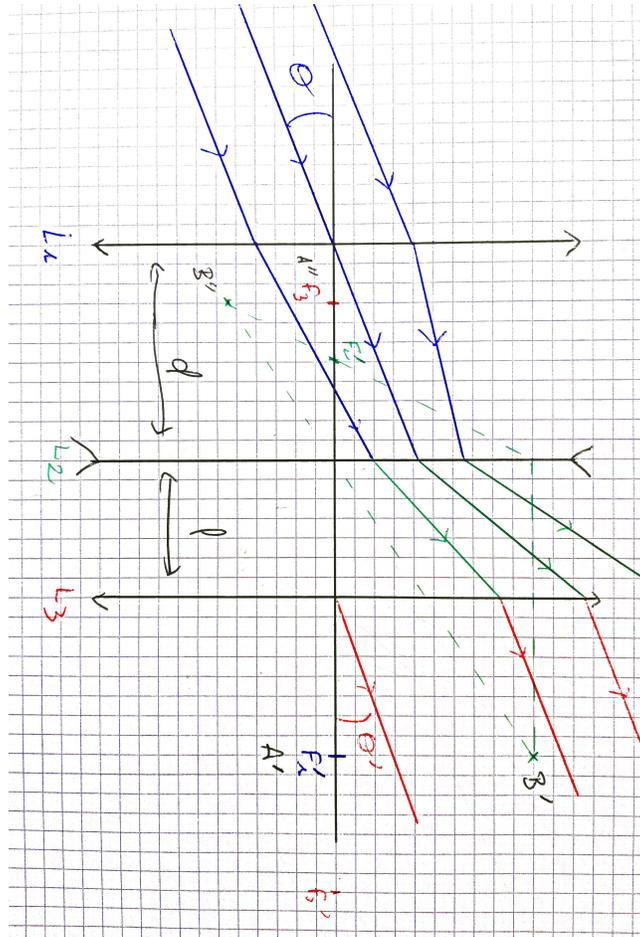


FIGURE 10 - Zoom

$$(i) \frac{1}{\overline{O_1 A'}} - \frac{1}{\underbrace{\overline{O_1 A}}_{-\infty}} = \frac{1}{f_1'} \Rightarrow \boxed{f_1' = \overline{O_1 A'}}$$

$$(ii) \frac{1}{\overline{O_2 A''}} - \frac{1}{\underbrace{\overline{O_2 A'}}_{<0}} = \frac{1}{f_2'} \quad \text{or } \overline{O_2 A'} = \overline{O_2 O_1} + \overline{O_1 A'} = -d + f_1'$$

$$\Rightarrow \frac{1}{f_2' - d} + \frac{1}{f_2'} = \frac{1}{\overline{O_2 A''}} \Rightarrow \boxed{\overline{O_2 A''} = \frac{f_2'(f_1' - d)}{f_2' + f_1' - d}}$$

$$(iii) \overline{O_3 A''} = -f_3' \quad (3^{\text{em}} \text{ relation de conjugaison})$$

$$\hookrightarrow \overline{O_3 A''} = \overline{O_3 O_2} + \overline{O_2 A''}$$

$$\boxed{-f_3' + l = \frac{f_2'(f_1' - d)}{f_2' + f_1' - d}} \quad \text{Système Afocal}$$

FIGURE 11 - Calcul...

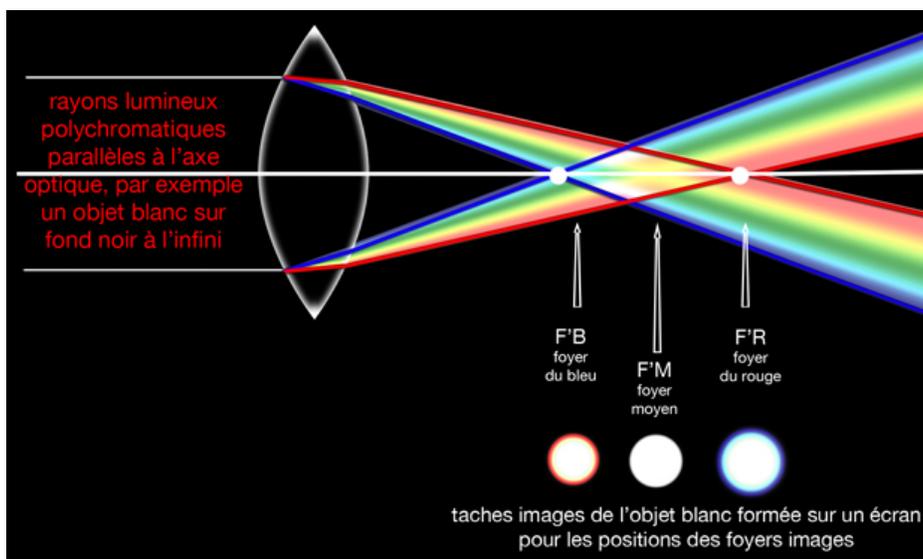


FIGURE 12 – Abération chromatique

vergence s'écrit :

$$V = \frac{1}{f} \left(\frac{1}{\hat{R}_1} - \frac{1}{\hat{R}_2} \right) \implies \frac{df}{f} = -\frac{dn}{n-1} = -\frac{n_{\text{bleu}} - n_{\text{rouge}}}{n_{\text{jaune}} - 1} = -\Delta$$

En accolant 2 lentilles, on peut compenser la dispersion :

$$V = V_1 + V_2 \implies \frac{-\Delta f}{f^2} = \frac{-\Delta_1}{f_1} - \frac{\Delta_2}{f_2}$$

Ainsi pour avoir $\Delta f = 0$ on choisit f_1, f_2 telles que : $\frac{-\Delta_1}{f_1} = -\frac{\Delta_2}{f_2}$ Crown et Flint. On obtient alors un objectif de Lister. On n'utilise plus ces objectifs en pratique mais le principe est cool.

2.3 Téléobjectif/macrophotographie

Afin de compenser certains aspects problématique rencontrés dans l'appareil photo, on utilise divers objectifs.

Macrophotographie : exercice 18 p. 114 H prepa. Le problème est le suivant : on considère un objectif de focale $f'_1 = 75$ mm. On donne $t_{max} = 4.25$ mm. Peut-on photographier un objet \overline{AB} de 1 cm perpendiculaire à l'AO situé à $AO_1 = 35$ cm de l'objectif ?

Pour répondre, il faut déterminer la position de A_1 image de A par L_1 , à l'aide de la relation de conjugaison de Descartes. On trouve $O_1A_1 = 95.45$ mm, c'est donc impossible car la distance maximale entre O_1 et le capteur est $t_{max} + f'_1 = 79.25$ mm.

Solution : on rajoute une lentille convergente devant l'objectif : cela revient à changer d'objectif. On a $O_1O_2 = 5$ cm, et $f'_2 = 33$ cm. Cela ne change pas t_{max} . Quels sont les points que l'on peut photographier nettement ? Il faut trouver les points limites de la plage de distance accessible. Ces points on pour image F'_1 et le point D' tel que $OD' = f'_1 + t_{max}$ par les 2 lentilles. On note D_1 le point qui donne D' par L_1 et D celui qui donne D_1 par L_2 .

- Point objet de F'_1 : F'_1 est donné par l'infini par L_1 , donc par le point focal objet de L_2 , situé à 38 cm de O_1 .
- Point objet de D' : relation de conjugaison de Newton pour L_1 et L_2 : on calcule la position de D_1 : $F_1D_1 = -f_1'^2/t_{max}$. Puis on calcule celle de D' avec $F_2'D' = -f_2'^2/F_2D_1$. Finalement, $CD = 66.1$ mm.

On a gagné sur la distance la plus proche photographiable (fortement). En revanche, on ne voit pas net à grande distance.

On peut faire un beau tracé de rayons lumineux pour boucler tout ça :

Téléobjectif : l'exercice est dans le Hprepa. L'idée est de rajouter une lentille divergente et une lentille convergente. Ca permet de voir plus loin. Faire le tracé des rayons lumineux juste en qualitatif ? Le but est d'obtenir une image grossie tout en limitant l'encombrement.

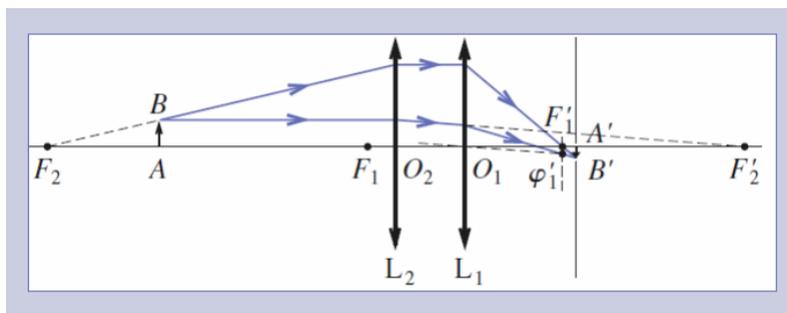


FIGURE 13 – *Hprepa*

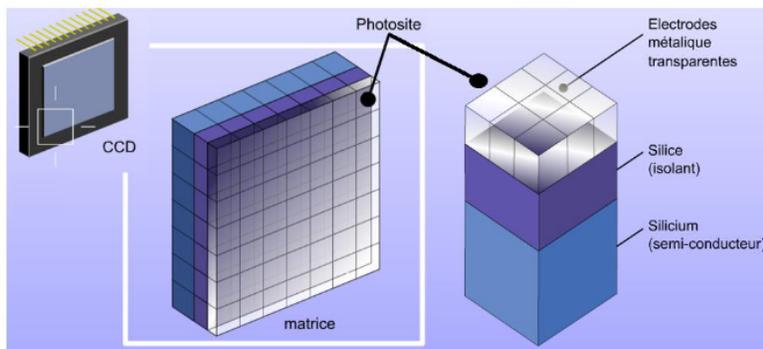


FIGURE 14 – *Structure d'un capteur CCD.*

3 Captation de l'image

3.1 Capteur CCD/CMOS, pixel

Plein de choses diapo de mme Pringent.

C'est en 2006 que la plupart des marques d'appareils photo ont abandonné le développement, voire la production d'appareils photos argentiques. On a remplacé les pellicules par des capteurs numériques : les capteurs CCD (Charge-Coupled Device, ou dispositif à transfert de charge en français) et CMOS (Complementary Metal Oxyde Semi-conductor). On décrit ici les capteurs CCD.

Structure de base :

Transfert de charge

Restitution des couleurs

Taille des pixels

Définition et résolution

Il peut être intéressant que l'on peut repérer un objet dont on connaît la forme plus précisément que la position d'un pixel

3.2 Argentique (nul)

On met un gel Ag^+, Br^- sur une plaque. Les photons incidents réduisent les ions argent en Ag , qui forme un solide noir visible à l'œil nu.

3.3 Stockage numérique (vraiment à la fin quoi)

Conclusion

La photographie est un domaine riche : on en a vu un aperçu superficiel. On a abordé des objectifs avec au plus 3 lentilles, mais aujourd'hui on trouve des objectifs contenant 15 lentilles ! Cela sert pour corriger le plus

d'aberrations possibles (aberrations chromatiques, aplanétisme, aberrations géométrique (coma, distorsion,...)), et à adapter l'objectif selon son utilisation (objectif macro, téléobjectif...).

Aujourd'hui, l'avènement du numérique a vu se développer les capteurs numériques et l'image n'est plus analogique, mais contient des pixels. Cette avancée a nécessité l'augmentation des espaces numériques de stockage et le développement de nouveaux algorithmes de compression d'images, dont le plus connu est le format JPEG (taux de compression de 3 à 100).