Note $\boxed{???}$ signifie que j'ai pas eu le temps de noter/pas compris

L'objectif photographique

JDD

December 9, 2024

1 Système optique centré

Un *système optique centré* est constitué de plusieurs lentilles (pas forcément minces) partageant le même axe de symétrie de révolution, appelé *axe optique* .

Un objectif photographique est un système optique centré comportant 5 à 8 lentilles[1]. Certaines sont divergentes, mais l'ensemble est équivalent à une lentille mince convergente, il form ed'un objet réelle une image réelle (objective)

L'utilisation de plusieurs lentilles a trois buts:

1. Corriger les défauts des objectifs, appelés *aberrations*. Il y en a 7 types:
   (a) Déformation géométrique: *distortion*
   (b) Défauts colorimétriques: *chromatique* et *vignettage*
   (c) Défauts de netteté: *courbure de champ*, *astigmatisme*, *aberration de sphéricité* et *coma*
2. Permet de fabriquer des objectifs de distance focale élevée *(téléobjectif)* de dimension très inférieure à cette distance focale.
3. Permet, le cas échéant, de fabriquer des objectifs de distance focale variable ou *zooms*. Cela nécéssite de déplacer certaines lentilles par rapport aux autre.

Ordres de grandeur

Distance focale **grand angle** 35 mm

standard 50 mm

téléobjectif 85–800 mm

2 Éléments cardinaux d'un objectif

Il y a 4 *éléments cardinaux* , qui sont des plans "fronto-parallèles" (perpandiculaires à l'axe optique):

- Un plan focal (F) conjugué à gauche
- Un plan focal (F') conjugué à droite
- Deux *plans principaux* , notés (H) et (H'), qui sont conjugués entre eux, contrairement aux plans focaux

[1] parfois plus

Les intersections de ces plans avec l'axe optique sont

(F) foyer principal objet F_0

(F') foyer principal image F'_0

(H) point principal objet H_0

(H') point principal image H'_0

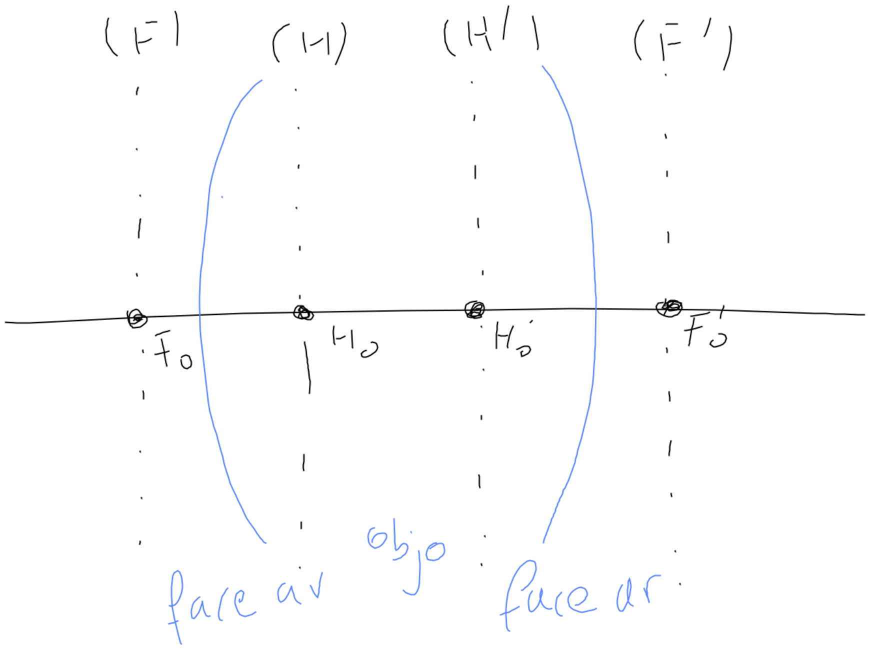


Figure 1: Représentation schématique d'un objectif

Les points nodaux N et N' sont deux points conjugués situés sur l'axe optique , tels qe tout rayon de l'espace objet passant par N, apres traversée de l'objectif, passe par N' *avec une direction identique*

Dans le cas usuel où l'objectif est plongé dans l'air, ces points sont confondus avec les points principaux: $N \equiv H_0$ et $N' \equiv H'_0$

Les *distances focales* sont des distances algébriques :

$f = \overline{NF_0}$	distance focale objet
$f' = \overline{N'F'_0}$	distance focale image

Si l'objectif est placé dans l'air, on a $f = -f'$. Pour un obectif, $f' > 0$

3 Relations de conjuguaison

Comme pour la lentille mince, les plans fronto-paralleles sont conjugues deux a deux, c'est ce qu'on appelle l'*aplanetisme*.

On oriente l'axe optique vers la droite, mais on utilise N comme origine dans l'espace objet, et N' dans l'espace image

IMPORTANT La *relation de conjuguaison*[2] s'ecrit

$$-\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f'}$$

En utilisation "normale" d'un appareil photo, (P) se trouve @ gauche de (F'), donc $p < f$

Examples du plan conjugue Pour $p \in]-\infty, f[$

$$\begin{aligned}
p = -\infty &\implies p' = f' \\
&(F') \text{ est conjugue de l'infini a gauche} \\
p = f &\implies p' = +\infty \\
&(F) \text{ est conjugue de l'infini a droite} \\
p = 2f &\implies p' = 2f' \\
&-\frac{1}{2f}+\frac{1}{2f'}=\frac{1}{f'}
\end{aligned}$$

Regle pratique Si le plan objet se deplace vers la droite, aors le plan image aussi

4 regles de construction d'une image

Cas ou $p = 2f$

Remarque c'est comme si c'etait une lentille mince avec juste du "vide" au milieu de la "lentille"

On onserve qu'un raon de l'espace objet incident en I sur (H) sort de (H') en I' tel que I' et I ont la meme ordonnee. On montre que cela est tojours le cas

D'ou les regles de construction d'une image a traverse un objectif

0. Tout rayon passant par un point I de (H) apres traversee, passe par un point I' de (H') de meme ordonnee que I

1. Tout rayon passant par N sont dans la meme direction (et pass epar N' d'apres la regle 0.)

2. Tt rayon passant par F_0 sort parallele a l'axe optique

3. Tout rayon parallele a l'axe optique sort en passant par F_0'

Ces regles doivent etre completees pour les point situes sur l'axe optique

[2] Descartes

5 Centre optique d'un objectif

Il existe une forte analogie entre les regles de construction d'une image pour un objectif et pour une lentille mince convergente. En retirat (virtuellement) l'espace situe entre $'H$) et (H'), les deux points nodaux N et N' vont coincider en un point note C appele *centre optique*

Le centre optique d'un objectif n'a pas de realtie physique. Il coincide avec N dans l'espace objet, et avec N' das l'espace image

En vision par ordinateur, ce point est l'origine du "repere camera"

Il constitue le centre de projection centrale du "modele stenopee"

6 Grandissement d'un objectif

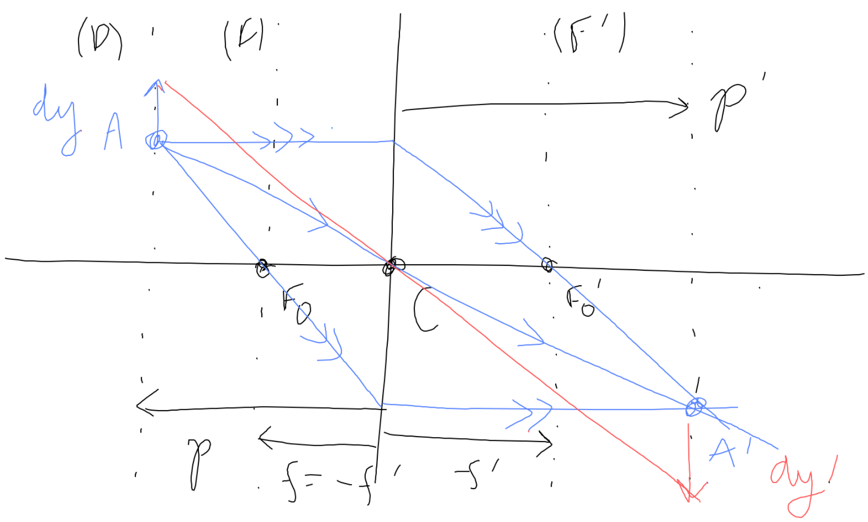


Figure 2

On positionne un objet dans (P) de dimension petite dy. D'après la règle de l'aplanétisme, sonn image est contenue dans (P'), de dimension dy'. On définit le *grandissement transverse* noté $G_\perp$, par

$$G_\perp = \frac{\mathrm{d}y'}{\mathrm{d}y}$$

Le théorème de Thalès donne

$$G_\perp = \frac{p'}{p}$$

Avec la relation de conjuguaison, on peut réécrire

$$\begin{aligned}
\frac{1}{p'} &= \frac{1}{f'} + \frac{1}{p} \\
&= \frac{p+f'}{pf'} \\
\implies \frac{p}{p'} &= \frac{p+f'}{f'} \\
\implies G_\perp &= \frac{f'}{p+f'}
\end{aligned}$$

En utilisation normale d'un objectif, $p \leq f$ donc

$$\begin{aligned}
p + f' = p - f \leq 0 \\
\implies G_\perp < 0
\end{aligned}$$

Kes images formées par un objectif sont inversées

Exemples

$$\begin{aligned}
p \in]-\infty, -2f'[&\implies |p+f'| > f' \\
&\implies |G_\perp| < 1 \\
p = -2f' &\implies p + f' = -f' \\
&\implies G_\perp = -1 \\
p \in]-2f', -f'[&\implies |p+f'| < f' \\
&\implies |G_\perp| >
\end{aligned}$$

On place maintenant un petit objet de dimention axiale dp à l'abscisse p

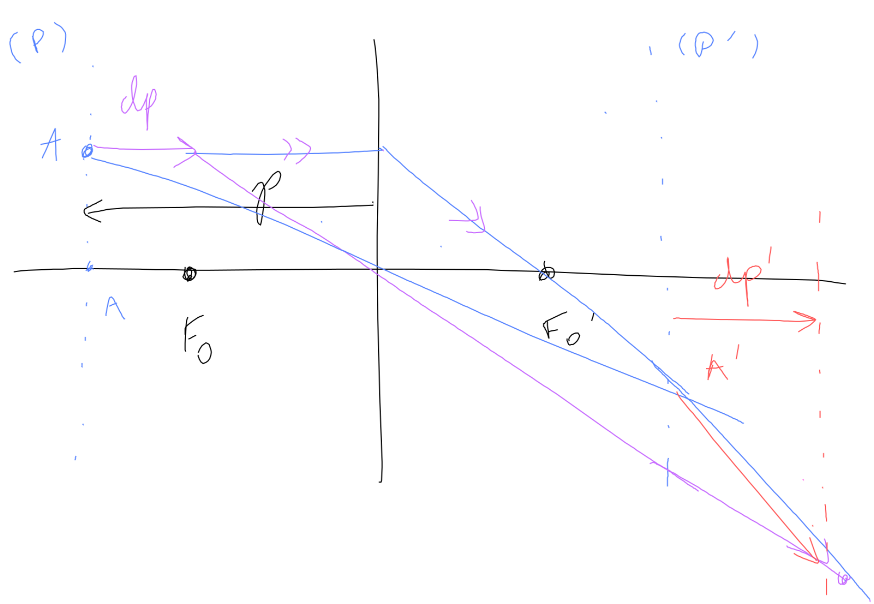


Figure 3

L'image de cet objet, en général, n'est pas parallèle à l'axe optique; On note dp' la dimension axiale de cette image et on définit le *grandissement axial* appelé $G_\parallel$, par

$$G_\parallel = \frac{\mathrm{d}p'}{\mathrm{d}p}$$

On différencie la relation de conjuguaison

IMPORTANT

$$\begin{aligned} \frac{1}{p'} &= \frac{1}{f'} + \frac{1}{p} \\ \Longrightarrow \frac{\mathrm{d}p'}{p'^2} &= \frac{\mathrm{d}p}{p^2} \\ \Longrightarrow G_\parallel &= \left(\frac{p'}{p}\right)^2 \end{aligned}$$

On remaruqe que $G_\parallel \geq 0$, ce qui confirme le fait qu'un objet et son image se déplacent dans le même sens

7 Modèle sténopé et mise au point

Des expressions de $G_\perp$ et $G_\parallel$ on en déduit:

TRÈS IMPORTANT

$$G_\parallel = G_\perp^2$$

Cette relation est donamentale en photographie.
Elle signfie que l'image d'un objet ne respecte pas ses proportions

En photographie "macroscopique" (usuelle), la taille de l'objet est de l'ordre du mètre.
Son image a une taille de l'ordre du centimètre (format standard de récepteur).
Par conséquent

$$\begin{aligned} |G_\perp| &\approx \frac{1 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \approx \frac{1}{100} \\ \Longrightarrow G_\parallel &\approx \left(\frac{1}{100}\right)^2 \\ \Longrightarrow G_\parallel &\ll |G_\perp| \end{aligned}$$

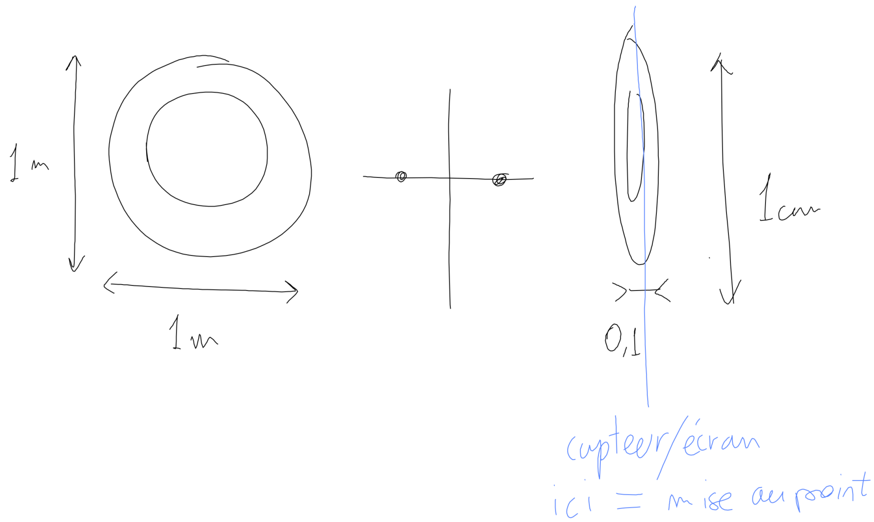


Figure 4

À partir d'un objet 3D, on obtient une image quasiment 2D, et orthogoanle à l'axe optique. On perd la 3e dimension!!!

En gros c'est l'inverse de la PI3D. POV: T'appelle le cours PII3D

$\boxed{???}$

$$\begin{aligned} G_\perp = \frac{-f'}{p+f'} &\approx -\frac{1}{100} \\ \implies p + f' &\approx -100f' \\ \implies p &\approx -100f' \end{aligned}$$

$$p' = \frac{pf'}{p+f'} \implies p' \approx f'$$

Ce plan est donc le plan focal image (F')

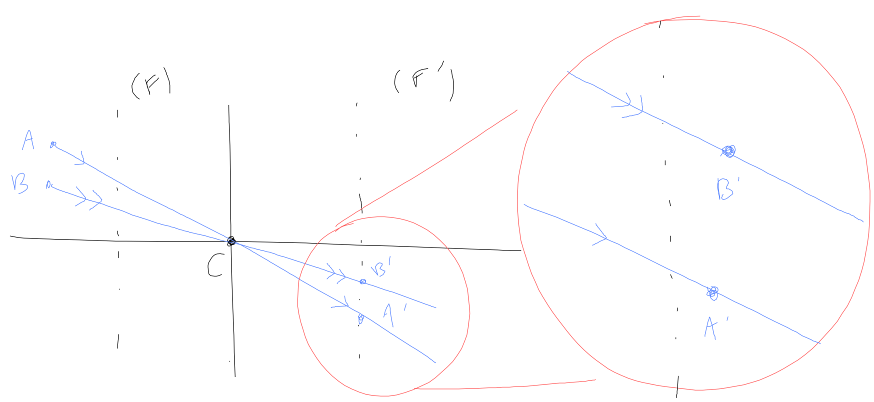
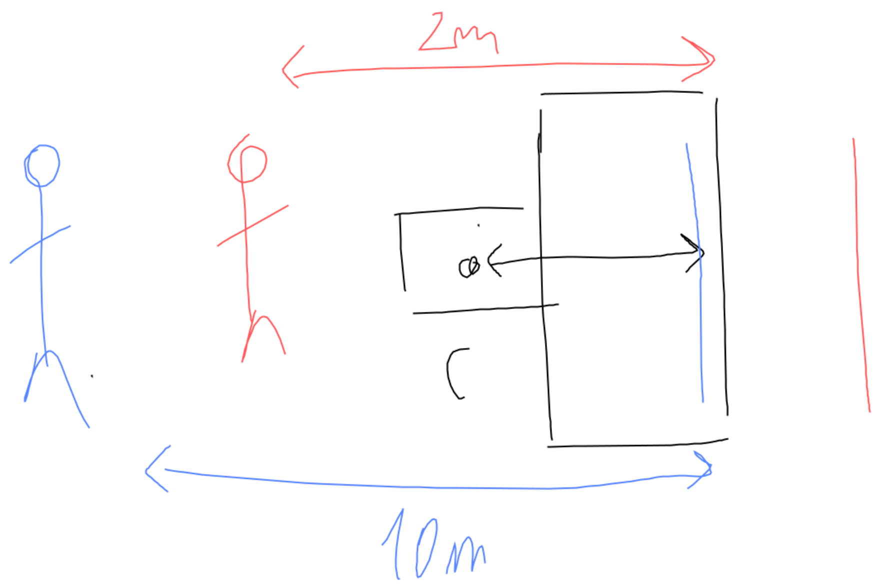


Figure 5

La projection centrale, de centre C, sur le plan focal image s'appelle le *modèle sténopé* . C'est un modèle approché

Faire la *mise au point* [3] consiste à déplacer le plan du récepteur photosensible de manière à le faire coïncider avec le plan moyen de l'image. En pratique, le récepteur reste fixe dans le boîtier, et c'est l'objectif qui se déplace.



Il existe des systèmes de mise au point automatique, l'*autofocus*, par la mesure du temps de vol d'un rayon infrarouge par ex.

Sans mise au point, l'image enregistrée par le récepteur sera (flou de mise au point.

Attention La mise au point ne doit pas être confondue avec le zoom

8 Autres cas de figure

Si l'objet photographié a une taille de l'ordre du centimètre, alors objet et image ont des dimensions du même ordre de grandeur

Par conséquent

$$|G_\perp| \approx 1 \implies G_\parallel \approx |G_\perp|$$

Le cas de figure est celui de la *macrophotographie*

Exemple d'un insecte

Il est impossible de faire la mise au point sur l'ensemble de l'image–l'effet de flou , qui est inévitable, est dû à un manque de *profondeur de champ*

Il n'existe pas d'appareil photo spécial pour la "macro"

[3] en anglais *focus*

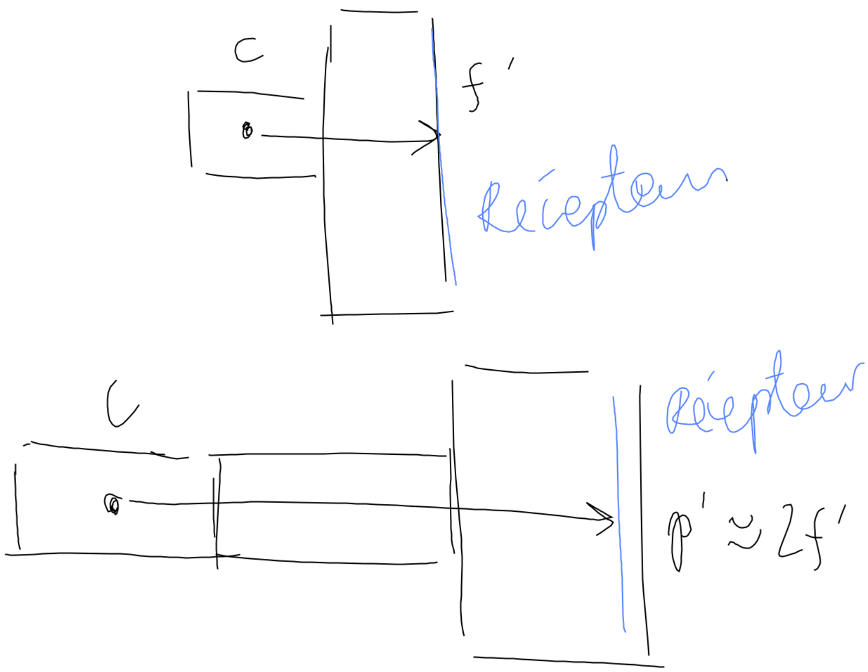


Figure 6: On ajoute un adaptateur pour éloigner C

Si l'objet a une taille de l'ordre de 100 µm, alors

$$|G_\perp| \approx 100 \implies G_\parallel \approx 10\ 000$$

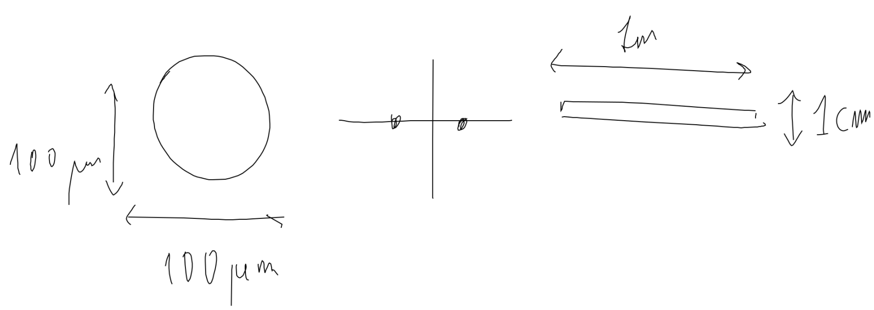


Figure 7

Exemple d'un grain de sable Ce dernier cas de figure est celui de la photographie microscopique

C'est la raison pour laquelle l'objet est "écrasé" entre deux lames de verre (sinon on voit r)