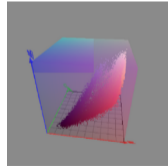
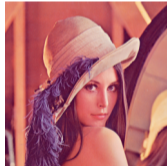


BCC5 – Analyse des Images

Optique : géométrie et formation d'image



Licence Professionnelle MICVI, François Cabestaing

plan du cours

- 1 **Optique géométrique**
 - principes, lois de Snell-Descartes
 - stigmatisme, image réelle et virtuelle
- 2 **Formation d'une image**
 - formation par sténopé
 - formation par lentille mince
- 3 **Caractéristiques des objectifs**
 - éléments constitutifs, caractéristiques
 - distance focale, zoom, optiques particulières
 - ouverture et qualité

Optique géométrique

Repose sur trois règles de base

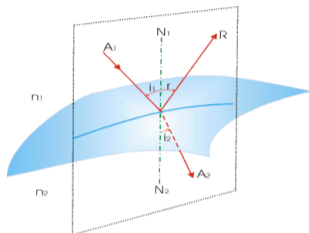
- la lumière se propage en **ligne droite** dans un milieu **homogène** et **isotrope** (Euclide 250 av. JC).
- le principe du **retour inverse**, ou réciprocity entre la source et la destination (Fermat, 1657).
- les rayons lumineux suivent les lois de Snell-Descartes (1621 et 1637) qui décrivent leurs **changements de trajet** à l'**interface** entre deux milieux.

Pourquoi géométrique ?

l'étude du système optique se réalise par l'intermédiaire de **constructions géométriques** permettant de définir le **trajet des rayons**.



Réflexion et réfraction



- **dioptre** : surface séparant deux milieux **transparents** et **isotropes**, dont les **indices de réfraction** sont différents.
- un rayon **incident** est en partie **réfléchi** et en partie **réfracté**.

- **loi 1** : les rayons incident, réfléchi et réfracté et la **normale** au dioptre au point d'incidence sont **coplanaires**.
- **loi 2** : l'angle d'incidence i_1 est égal à l'angle de réflexion r .
- **loi 3** : en lumière **monochromatique**, l'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 sont liés par la relation :

$$n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$$

Stigmatisme, point image

Propriété d'un système optique réfractant des rayons

- **stigmatisme** : un système est **stigmatique** s'il dévie tous les rayons issus d'un **point source** de telle sorte qu'ils soient à nouveau **concourants** à leur sortie du système.
- le point d'intersection de tous les rayons sortant du système est appelé **point image**.

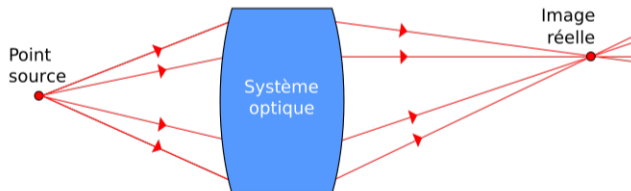


Image réelle, image virtuelle

Image réelle

quand le point image est situé **après** le système optique (dans le sens de propagation) il est qualifié de **réel**.

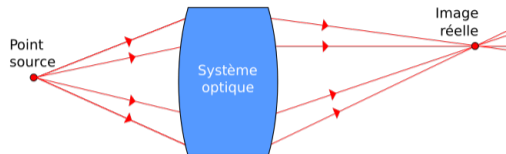
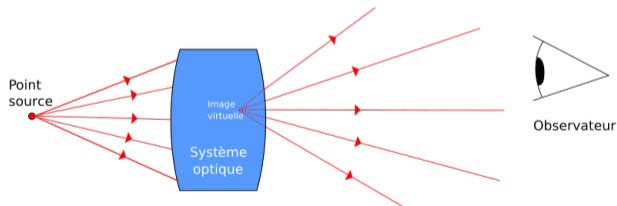
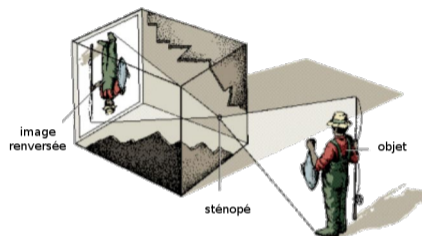


Image virtuelle

quand le point image est situé **avant**, ou **dans**, le système optique, il est qualifié de **virtuel**. Il faut alors un **autre système** optique stigmatate pour former un point image réel.



Sténopé (1/2)



tous les rayons lumineux issus de la scène et **parvenant** sur le capteur passent par le **sténopé**, qui est un **trou** dont le diamètre est supposé **nul**.

- **avantages** : le principe est très simple et les constructions géométriques servant à calculer les images sont élémentaires.
- **inconvénient** : impossible de percer un trou de diamètre nul. de ce fait, soit on manque de **luminosité** (peu de lumière passe) soit l'image est **floue** (plusieurs rayons passent par le trou).

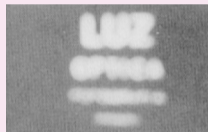
Sténopé (2/2)

Illustration des inconvénients

flou par **multiplicité** ou par **diffraction** des rayons lumineux



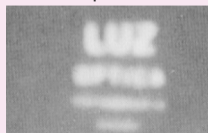
diamètre trop élevé (2 mm)



diamètre trop élevé (1 mm)



diamètre correct (0.35 mm)



diamètre trop faible (0.07 mm)

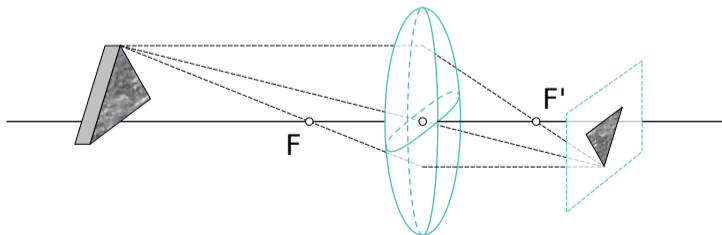
Lentille mince (1/4)

Modèle de la lentille mince

propriétés caractéristiques :

- un rayon passant par le **centre optique** n'est pas dévié ;
- un rayon venant de l'infini **parallèlement** à l'axe optique est dévié, puis il suit une droite **passant par un foyer**.

F, F' : points focaux ou **foyers**; droite FF' : **axe optique**



Lentille mince (2/4)

Modèle de la lentille mince

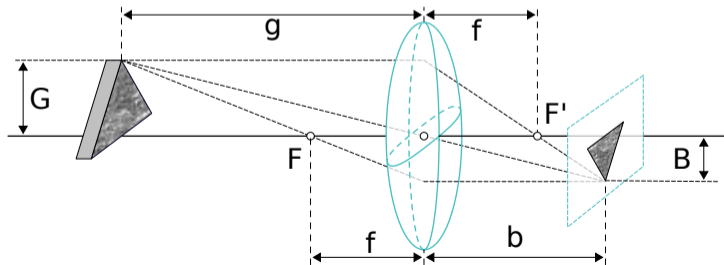
- foyer objet F , foyer image F' , distance focale f
- hauteur de l'objet G , distance de l'objet g
- hauteur de l'image B , distance de l'image b

loi de Descartes :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$$

grandissement :

$$m = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$



Un p'tiot exo ?



Lentille mince (3/4)

Mise au point

- consiste à changer la **distance** lentille-capteur.
- la distance optique/capteur **maximale** (limite mécanique) définit la distance minimale de l'objet, ou **DMO**. (en deçà, il n'est plus possible d'obtenir une image nette).

$$DMO = \frac{f \cdot b_{max}}{b_{max} - f}$$

- les distances minimale et maximale de mise au point peuvent être modifiées par l'utilisation d'une **bague allonge**.

Angle de champ

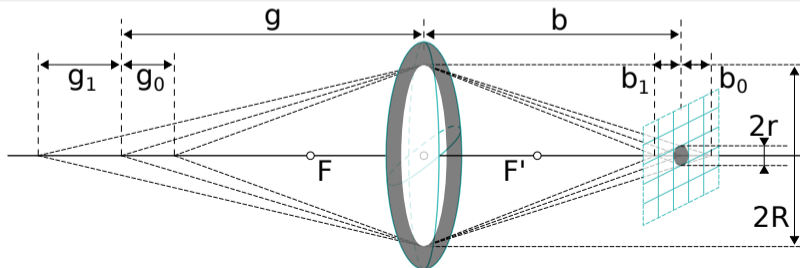
- angle **maximal** entre deux rayons parvenant sur le capteur

$$\alpha = 2 \cdot \arctan \left(\frac{D_{max}}{2 \cdot f} \right), \text{ avec } D_{max} \text{ diagonale du capteur}$$

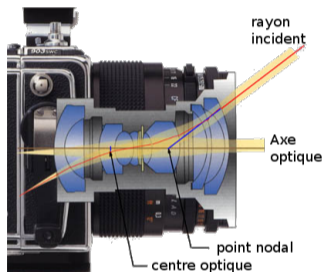
Lentille mince (4/4)

Profondeur de champ

- le **diaphragme** permet de limiter l'intensité.
- si l'image d'un point situé à la distance g est **nette**, l'image d'un point situé plus près $g - g_0$, ou plus loin $g + g_1$, est un **cercle**.
- si les **diamètres** de ces deux cercles sont inférieurs à la taille d'un pixel, tous les objets situés entre $g - g_0$ et $g + g_1$ sont **nets**.
- la distance $g_0 + g_1$ est appelée **profondeur de champ**.



Objectif



Association de lentilles et d'un diaphragme

tous les éléments optiques sont associés dans un **montage** qui permet de régler :

- l'**ouverture** par l'intermédiaire du **diaphragme** ;
- la **mise au point** en déplaçant certains **groupes de lentilles** le long de l'axe optique.

sur la plupart des objectifs, le **centre optique** est différent du **point nodal**, du fait de la longueur importante de l'association de lentilles.

Gammes d'objectifs photographiques

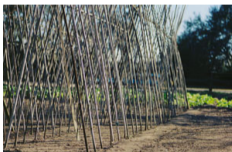
- taille standard de l'image : 24×36 mm (pellicule photo)
- distance focale standard = 43 mm (équivalente vision humaine)



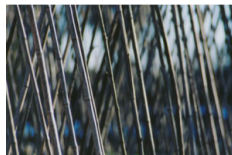
distance focale 28 mm (grand angle)



distance focale 50 mm (standard)



distance focale 70 mm (longue)



distance focale 210 mm (téléobjectif)

Gammes d'objectifs photographiques (Canon EF)

objectifs à focale fixe : 2 bagues de réglage



28 mm (grand angle)



50 mm (standard)



400 mm (téléobjectif)

objectifs à focale variable ou zooms : 3 bagues de réglage



24-70 mm (grand angle à standard)



70-210 mm (standard à téléobjectif)

Ouverture relative d'un objectif

Intérêt du diaphragme

le **diaphragme** est inséré dans la chaîne optique d'un objectif :

- pour ajuster la **quantité de lumière** reçue par le capteur ;
- pour fixer la **profondeur de champ**.

Définition

l'**ouverture relative** d'un objectif est le **rapport** entre la distance focale et le **diamètre** du diaphragme de l'objectif.

par abus de langage, on utilise souvent le terme **ouverture** seul.

Valeurs standard

définies en multipliant ou divisant la surface par 2, donc avec une proportion en **racine carrée de 2** sur le diamètre :

$f/1.4$, $f/2$, $f/2.8$, $f/4$, $f/5.6$, $f/8$, $f/11$, $f/16$, $f/22$, $f/32$

Qualité d'un objectif (1/2)

Taux de transmission lumineuse

la quantité de lumière atteignant le capteur est toujours **inférieure** à celle qui rentre dans l'objectif : un bon objectif a un taux de **transmission lumineuse** proche de 1.

Aberrations

- aberration **géométrique** : l'image qui est projetée sur le capteur apparaît **déformée**, les droites deviennent **courbes** ;
- aberration **chromatique** : les rayons sont plus ou moins déviés selon leur longueur d'onde, de **fausses couleurs** apparaissent.

Vignettage

l'image projetée sur le capteur est souvent **plus claire au centre** que sur les bords, du fait que les rayons sont plus **dispersés** sur le bord des lentilles qu'à proximité de l'axe optique.

Qualité d'un objectif (1/2)



aberration chromatique



vignettage



aberration géométrique (coussinet)



aberration géométrique (barillet)

Pour approfondir

Optique géométrique

- cours de licence « physique », Claude Saint-Blanquet, université de Nantes
http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/claude_saintblanquet/synophys/35opged/35opged.htm
- wikipedia, articles sur l'optique géométrique
http://fr.wikipedia.org/wiki/Optique_geometrique

Formation des images

- cours de master « vision par ordinateur », Alain Boucher, IFI
<https://dinf.cll.qc.ca/vision/>