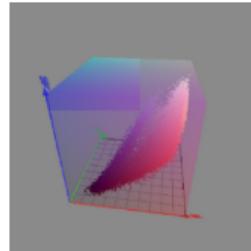


BCC5 – Analyse des Images

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

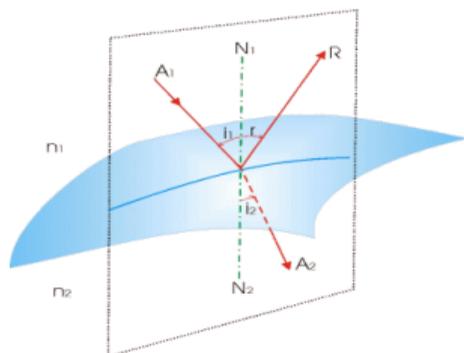
- la lumière se propage en **ligne droite** dans un milieu **homogène** et **isotrope** (Euclide 250 av. JC).
- le principe du **retour inverse**, ou réciprocity entre la source et la destination (Fermat, 1657).
- les rayons lumineux suivent les lois de Snell-Descartes (1621 et 1637) qui décrivent leurs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

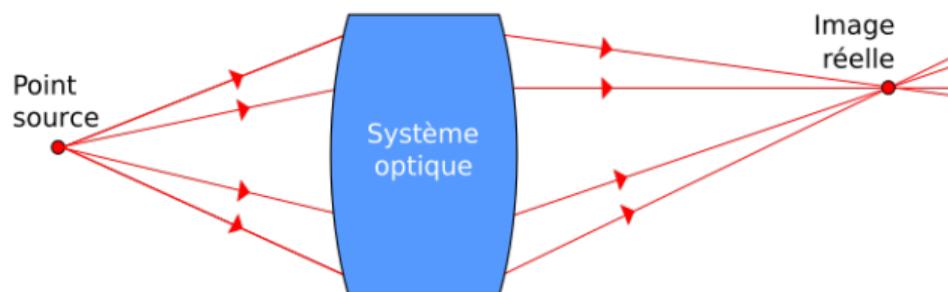


Image réelle, image virtuelle

Image réelle

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

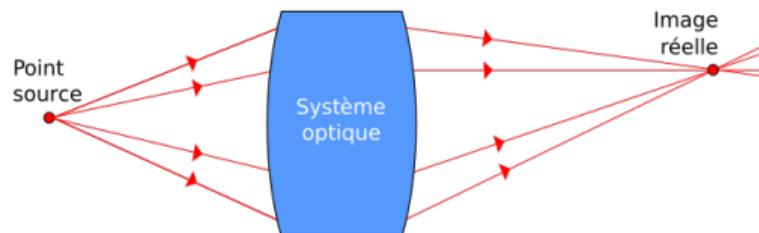
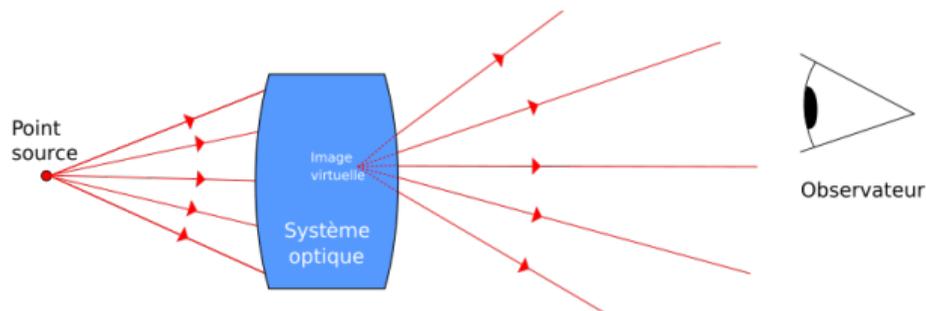
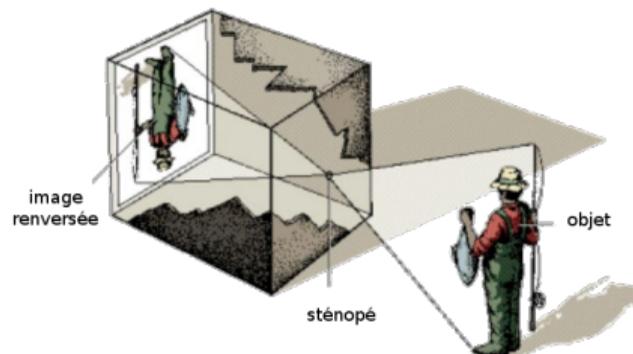


Image virtuelle

quand le point image est situé **avant**, ou **dans**, le système optique, il est qualifié de **virtuel**. Il faut alors un **autre système** optique stigmatique 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)

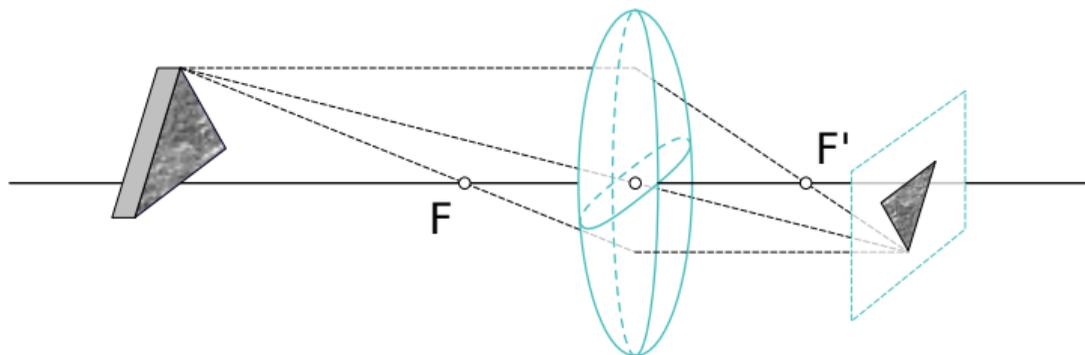
Lentille mince (1/4)

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

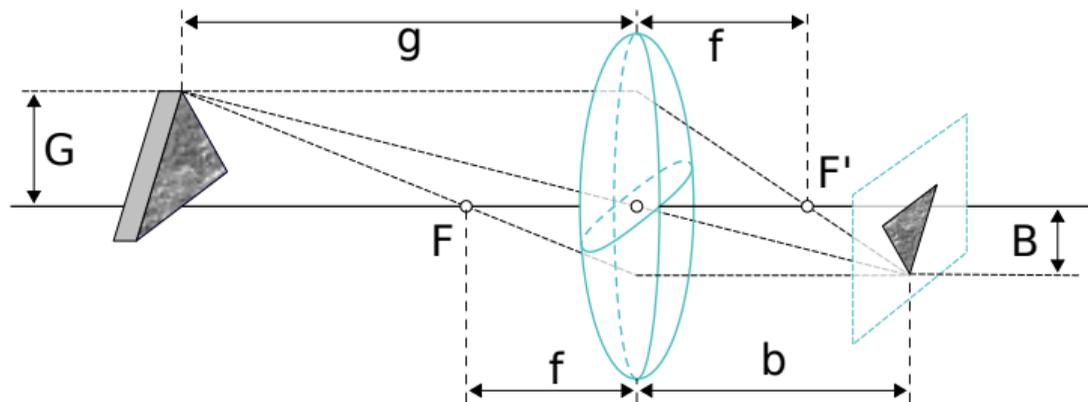
- foyer objet F , foyer image F' , distance focale f
- hauteur de l'objet G , distance de l'objet g
- hauteur de l'image B , distance de l'image b

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

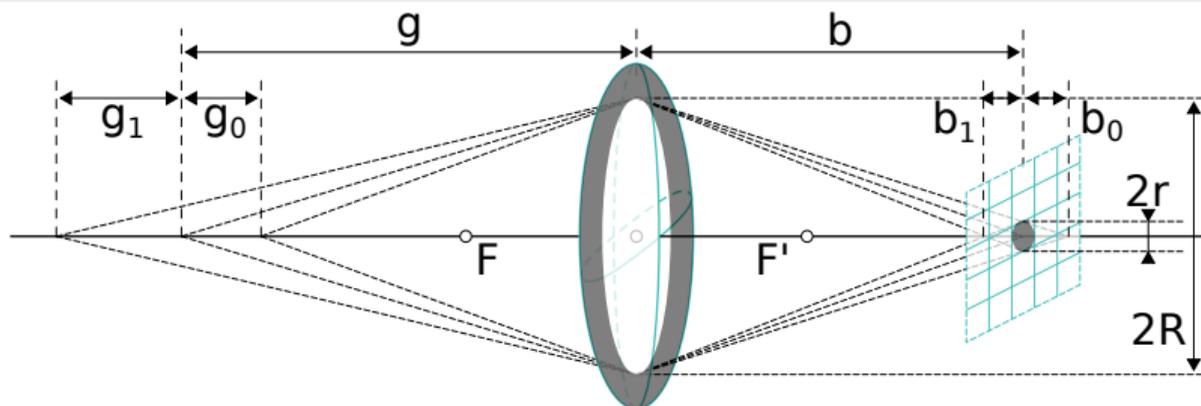
- angle **maximal** entre deux rayons parvenant sur le capteur

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

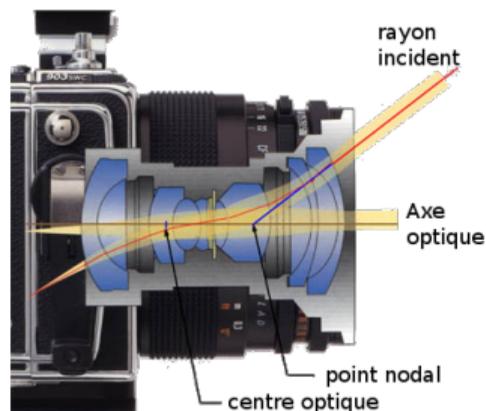
Lentille mince (4/4)

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.

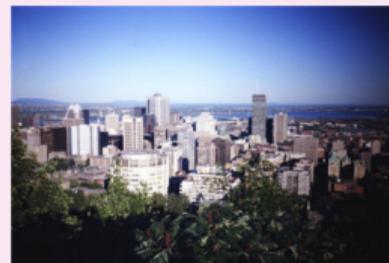
Vignettage

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/>