

PjE – Projet Encadré IVI

Semaine 1 : éléments d'optique

Master ASE : <http://master-ase.univ-lille1.fr/>

Master Informatique : <http://www.fil.univ-lille1.fr/>

Spécialité IVI : <http://master-ivi.univ-lille1.fr/>

Plan du cours

1 – Optique géométrique

principes, loi de Snell-Descartes

stigmatisme, image réelle et virtuelle

modèle de la lentille mince

2 – Formation d'une image

formation par sténopé

projection perspective, systèmes de coordonnées

3 – Caractéristiques des objectifs

éléments constitutifs, caractéristiques

distance focale, zooms, optiques particulières

ouverture et qualité

4 – FTIR

Principe et images obtenues

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).
- 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.



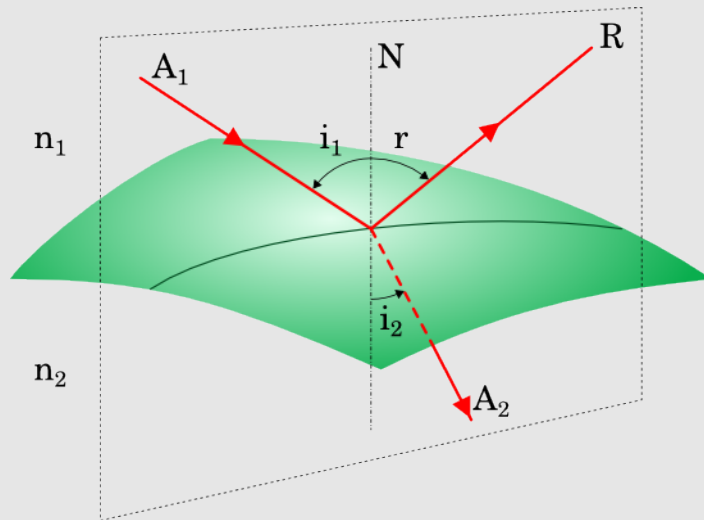
Pourquoi géométrique ?

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



Lois de Snell-Descartes

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**.

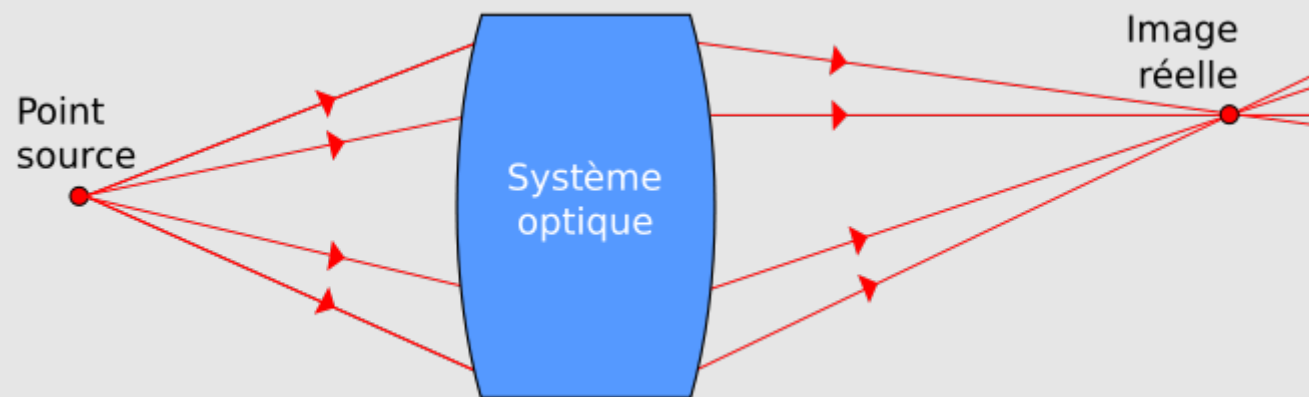
loi 2 : l'angle d'incidence (i_1) est égal à l'angle de réflexion (r).

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

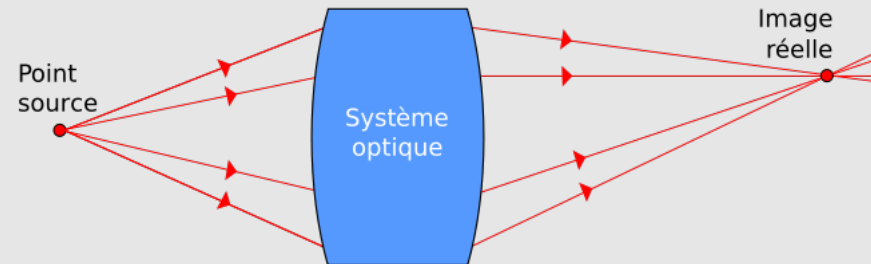
Propriété d'un système optique réfractant des rayons



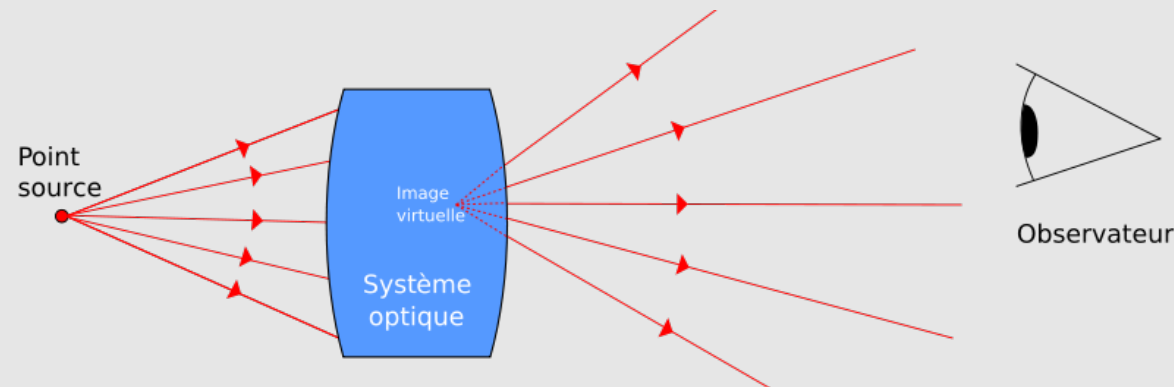
stigmatisme : un système est **stigmat** s'il dévie tous les rayons issus d'un **point source** de telle sorte qu'ils soient à nouveau **concourants** à leur sortie du système.

le point d'intersection de tous les rayons sortant du système est appelé **point image**.

Image réelle, image virtuelle



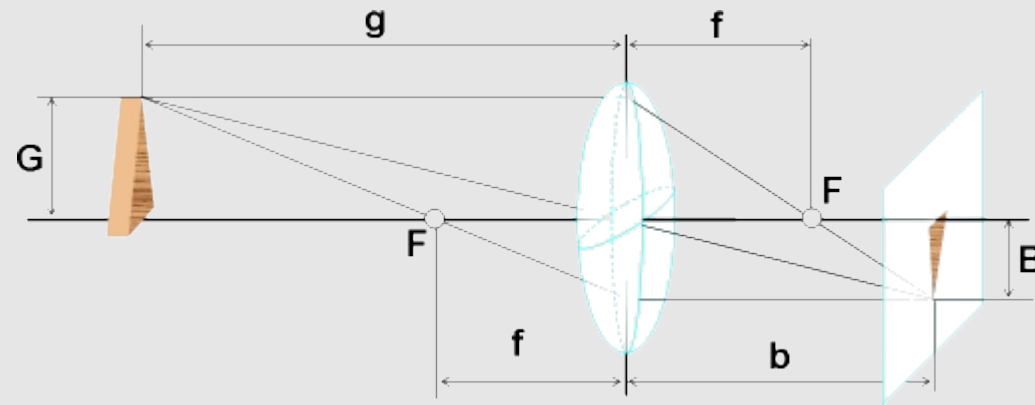
quand le point image est situé **après** le système optique (dans le sens de propagation) il est qualifié de **réel**.



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.

Lentille mince (1/4)

Modèle de la lentille mince



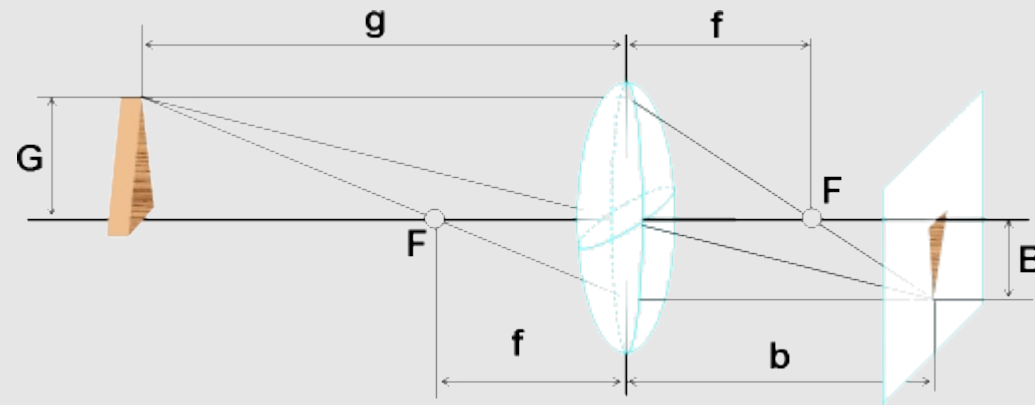
F, F' : points focaux ou **foyers ; droite FF' : **axe optique****

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**.**

Lentille mince (2/4)

Modèle de la lentille mince



F: point focal; f: distance focale; G hauteur de l'objet; B hauteur de l'image; g distance de l'objet; b distance de l'image

loi de Descartes : $\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$, **grandissement :** $m = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$

distance focale : $f = \frac{b}{(1 + m)}$

image : fr.wikipedia.org/wiki/Optique_géométrique

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**.

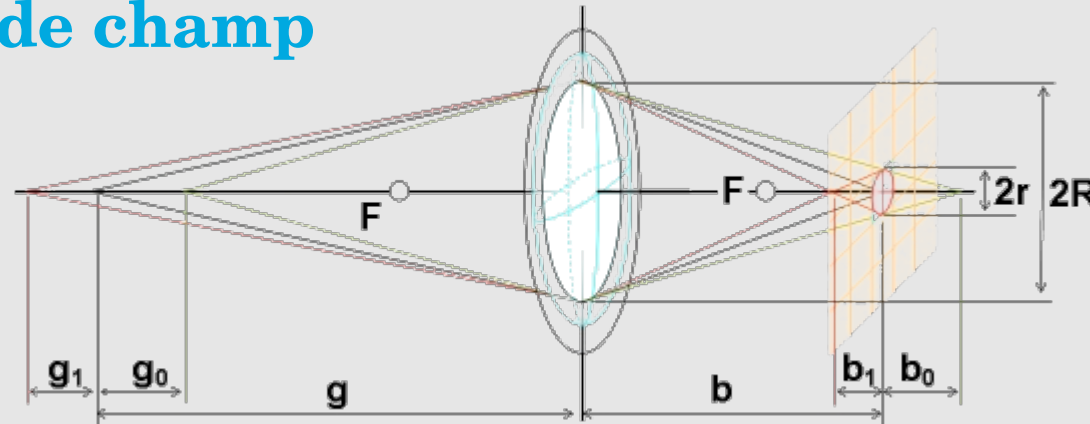
Angle de champ

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

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

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_0), ou plus loin (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**.

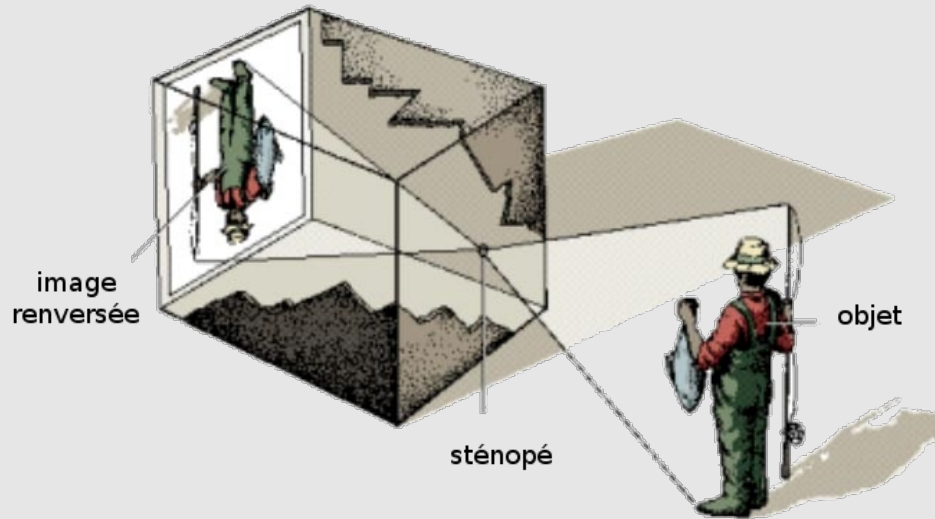
g_0+g_1 est appelée **profondeur de champ** :

$$g_0 + g_1 = \frac{4f^2 r k g (g - f)}{f^4 - 4r^2 k^2 (g - f)^2}, \text{ où } k = \frac{f}{2R} \text{ est l'ouverture.}$$

image : fr.wikipedia.org/wiki/Optique_géométrique

Sténopé (1/3)

Principe



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**.

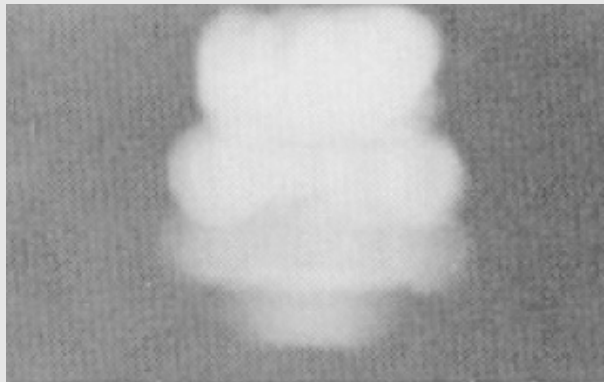
avantages : le principe est très simple et les constructions géométriques servant à calculer les images sont élémentaires.

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 (2/3)

Illustration des inconvénients

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



diamètre trop élevé (2 mm)



diamètre trop élevé (1 mm)



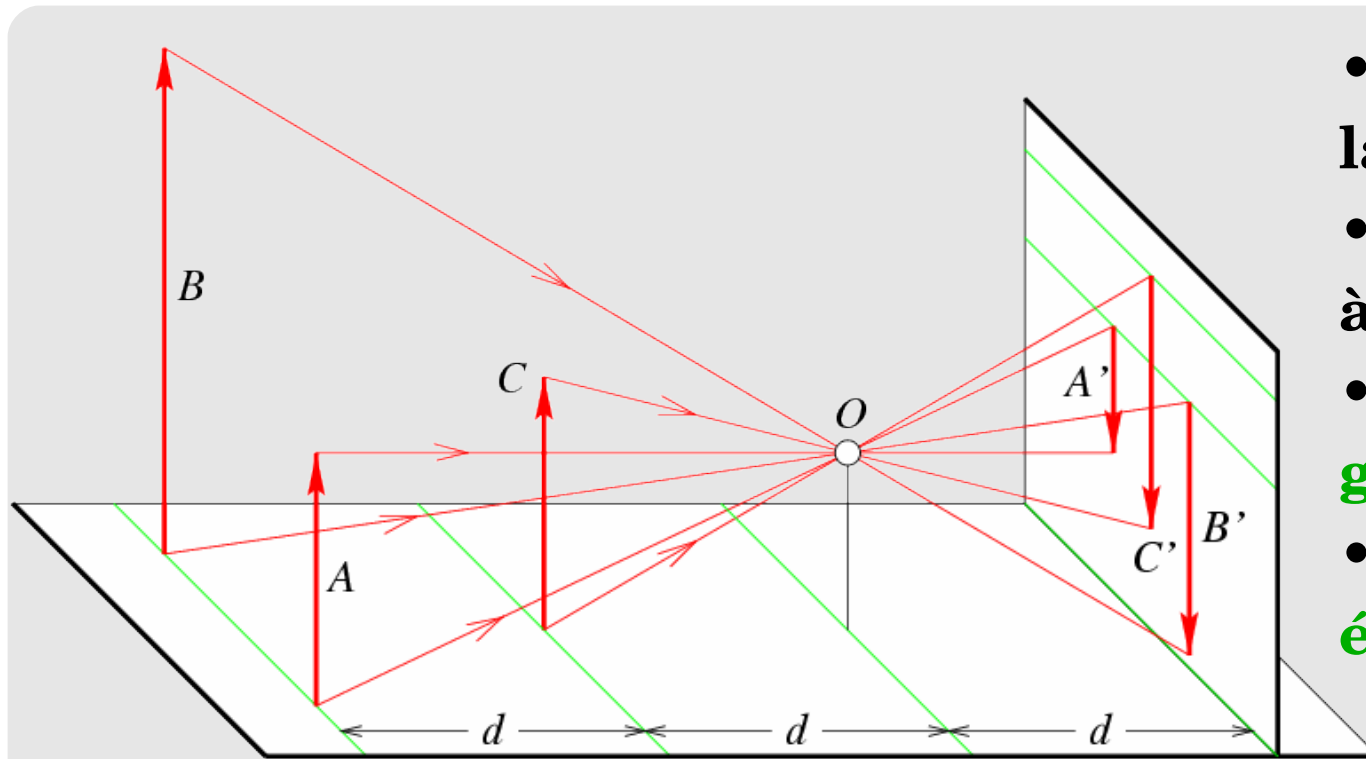
diamètre correct (0.35 mm)



diamètre trop faible (0.07 mm)

images : Computer Vision, A Modern Approach, Forsyth et Ponce

Sténopé (3/3)



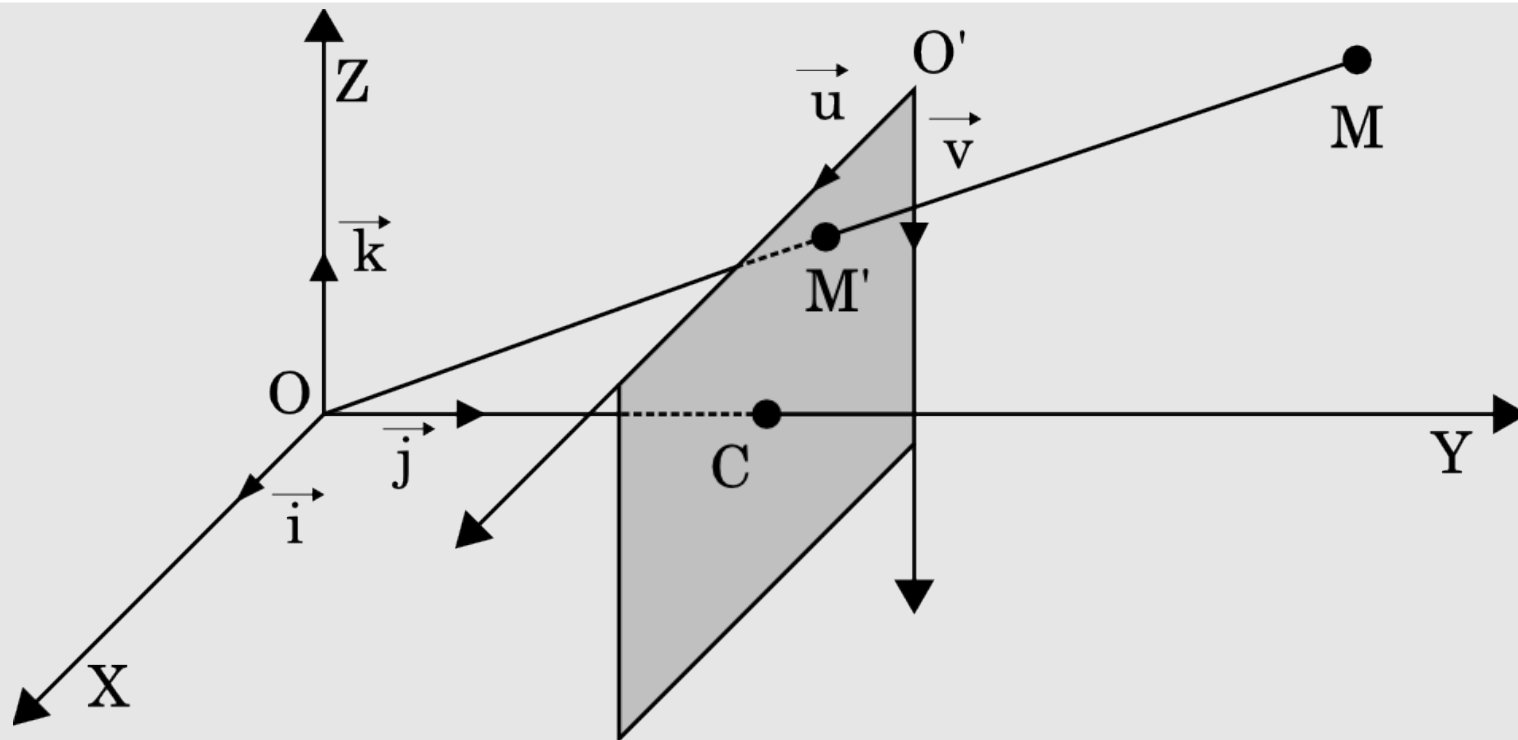
- les objets A et C ont la même **taille** ;
- les objets A et B sont à la même **distance** ;
- B est deux fois plus **grand** que C ;
- B est deux fois plus **éloigné** que C.

L'image d'un objet est d'autant **plus petite** qu'il est **éloigné**.

Les proportions sont respectées :

- même distance : taille image **proportionnelle** à taille objet ;
- même taille : taille image **inversement prop.** à la distance.

Projection perspective = transformation



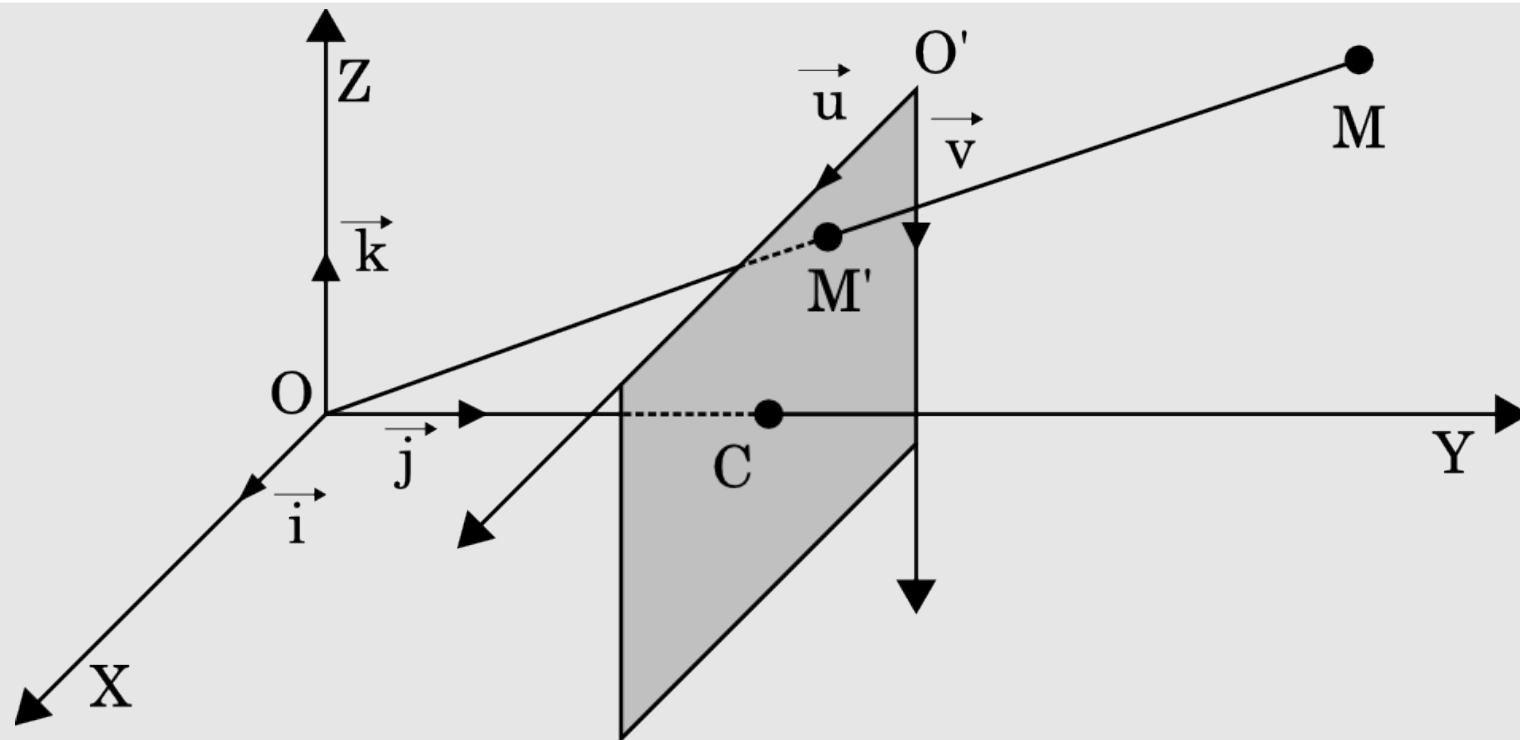
Configuration directe (pas d'inversion comme en sténopé)

le plan image est **orthogonal** à l'axe Y, qui mesure la **profondeur** ;
cet axe est confondu avec l'**axe optique** du système ;

l'axe optique passe par le **centre** de l'image ;

le centre de l'image est situé à la **distance f** du centre du repère.

Projection perspective = transformation



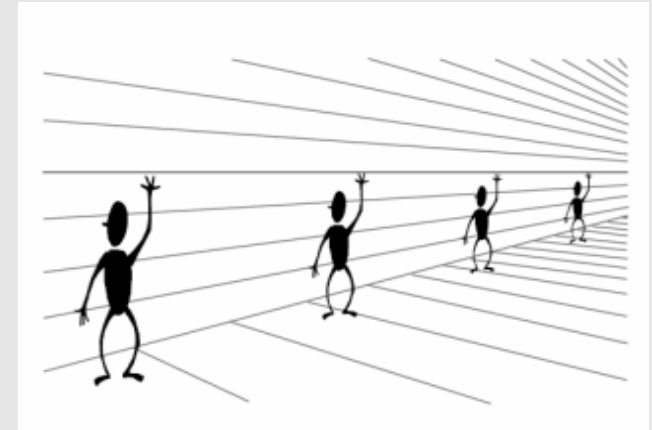
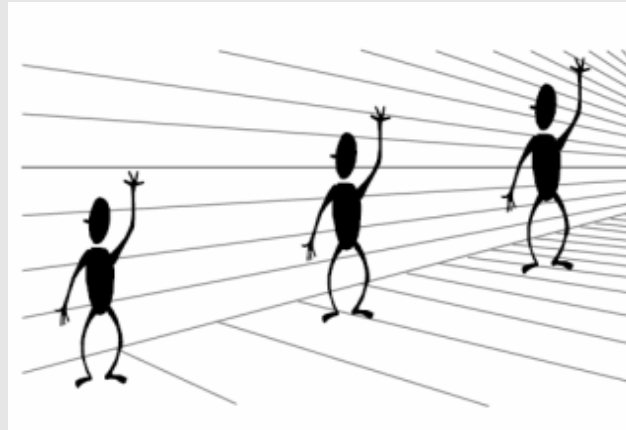
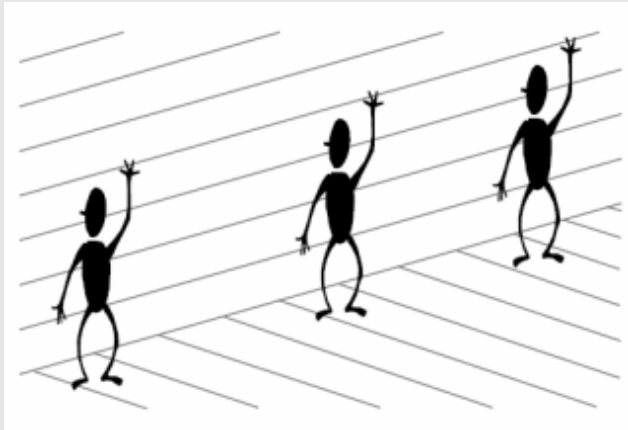
Équations de la transformation

$M(x,y,z)$ dans le **repère scène**, $M'(c,l)$ dans le **repère image**.

$$c = f.x/y + T_x/2 \quad \text{et} \quad l = -f.z/y + T_y/2$$

Indices visuels de perspective

Relations entre les images d'objets de tailles connues



Dans une image, nous **percevons** des indices de perspective par le fait que nous avons des **connaissances a priori** sur les objets. Notre perception tient compte des règles de la **projection perspective** : c'est le mode de formation d'image de notre oeil. Quand les **proportions** concernant des objets connus ne sont pas respectées, notre vision **se trompe** sur la taille ou la distance.

Illusions d'optique dues à la perspective

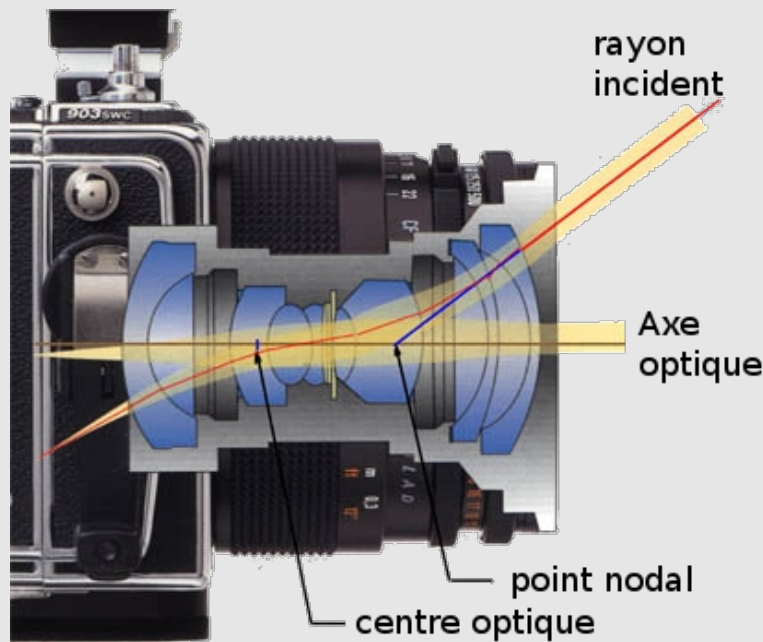
Relations entre taille de l'image et taille de l'objet



Toutes les **images** des voitures ont exactement la même taille. Leurs tailles en tant qu'objets dans une scène nous **semblent différentes** car nous tenons compte de l'**effet de perspective**.

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 éléments 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 (Canon EF)

- objectifs à **focale fixe**



28 mm (grand angle)



50 mm (standard)



400 mm (téléobjectif)

- objectifs à focale variable ou **zooms**



24-70 mm



70-200 mm

images : www.canon.fr

Gammes d'objectifs photographiques

taille standard de l'image : 24 x 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)

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 (2/2)



aberration chromatique



vignettage



aberration géométrique (coussinet)



aberration géométrique (barillet)

Autres projections

Principes généraux

l'image **apparaît** comme projetée sur une surface **non plane**.
par exemple, projection **cylindrique** ou **sphérique**.
utilisation pour obtenir une vue **panoramique** d'une scène.



objectif fish-eye (forte déformation)

FTIR : Frustrated Total Internal Reflection

Principe

les rayons émis par la **LED** entrent par le bord de la plaque, puis ils subissent une série de **réflexions totales**.

Au **contact** du doigt, les **propriétés du dioptre** sont modifiées et une partie de la lumière est **diffusée**.

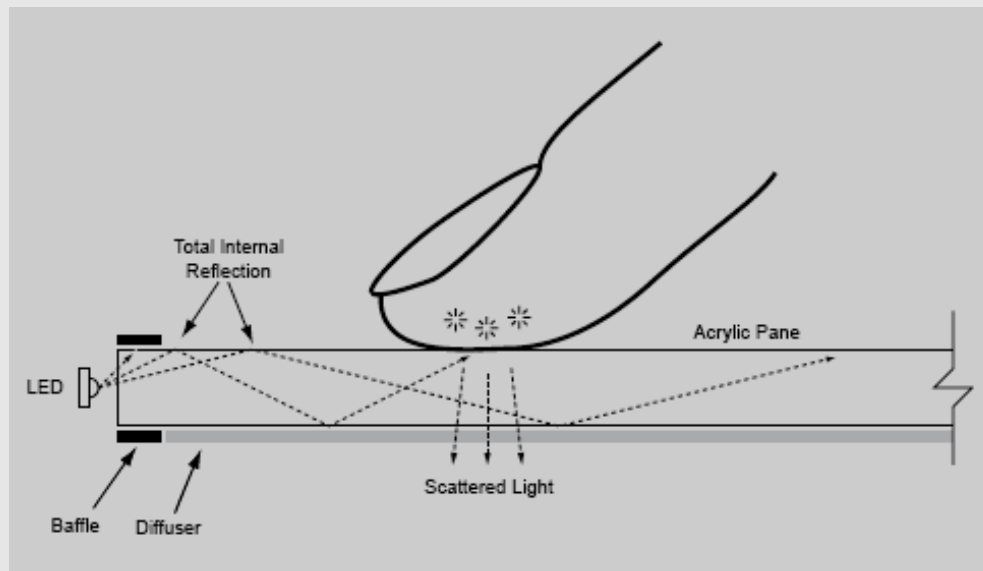
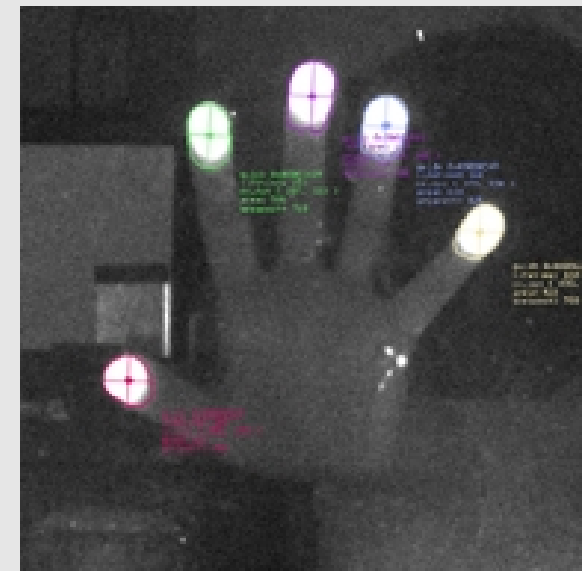


schéma d'une association LED + Plexiglass



exemple d'image obtenue

images : nuigroup.com

Pour approfondir

Optique géométrique

cours de licence «physique», Eric Tanguy, université de Nantes

<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/enseignement/DeugA/Physique1/optique/cours/index.html>

wikipedia, articles sur l'optique géométrique

http://fr.wikipedia.org/wiki/Optique_géométrique

Formation des images

cours de master « vision par ordinateur », Alain Boucher, IFI

http://www1.ifi.auf.org/personnel/Alain.Boucher/cours/vision_par_ordinateur/index.html

Matériel table multitouch et FTIR

NUI group (natural user interface)

<http://nuigroup.com/>

simulation d'une association LED + plexiglass

<http://www.outgribe.com/jason/ftir/ftir.html>