

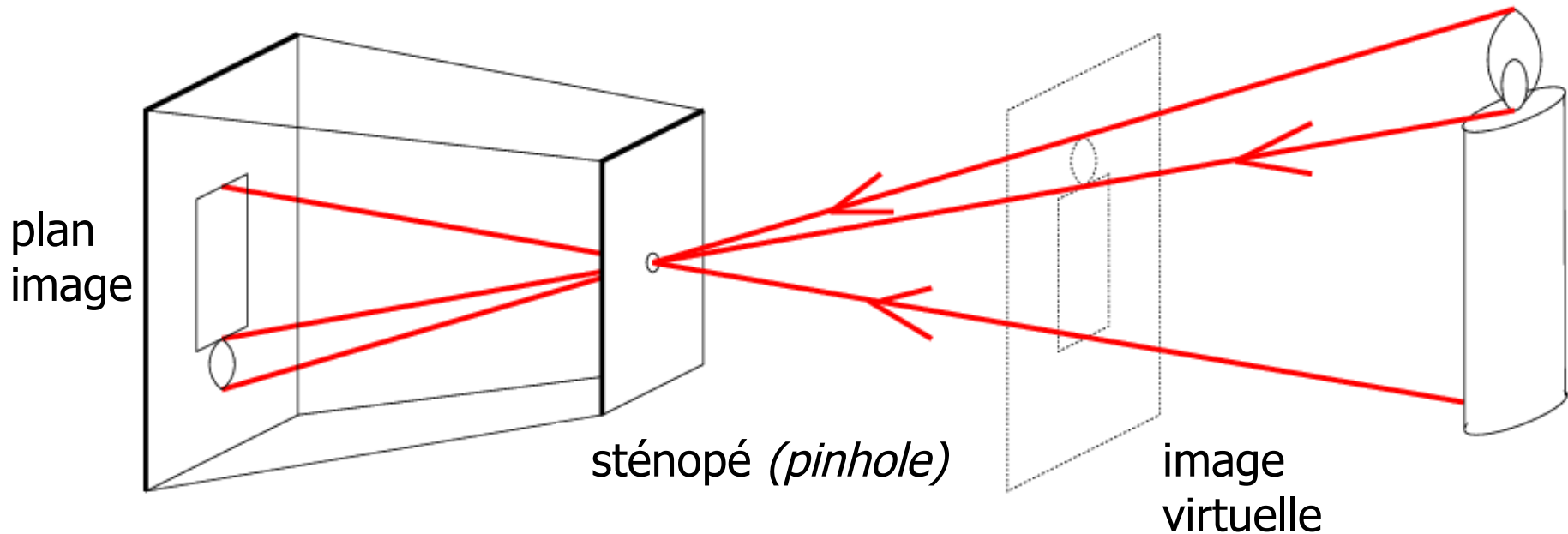


Vision par ordinateur

Modèle de la caméra

Alain Boucher - IFI

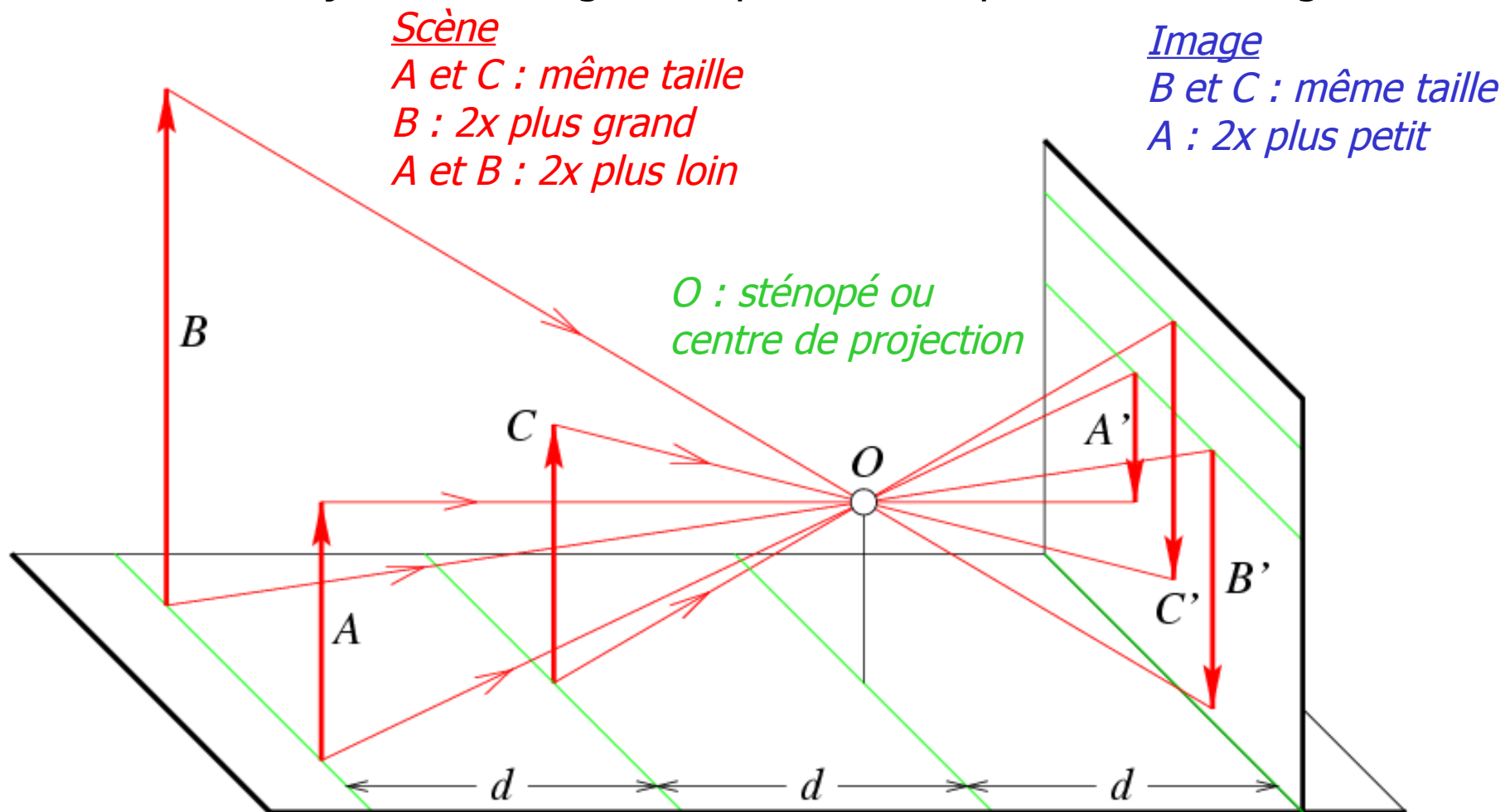
Modèle de sténopé (*pinhole*)

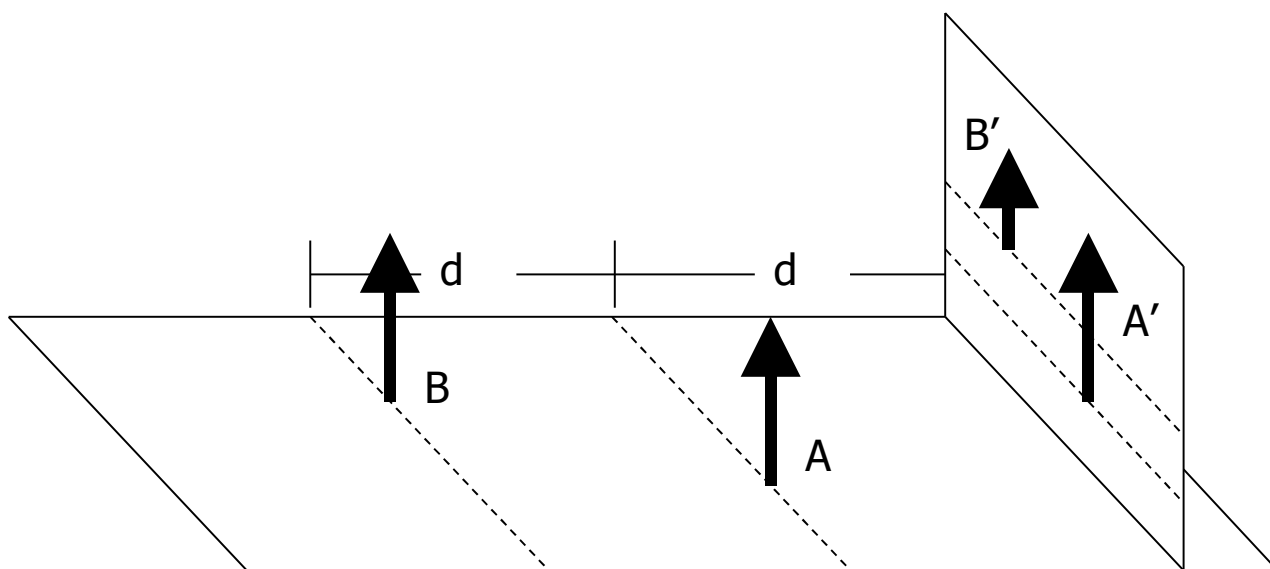
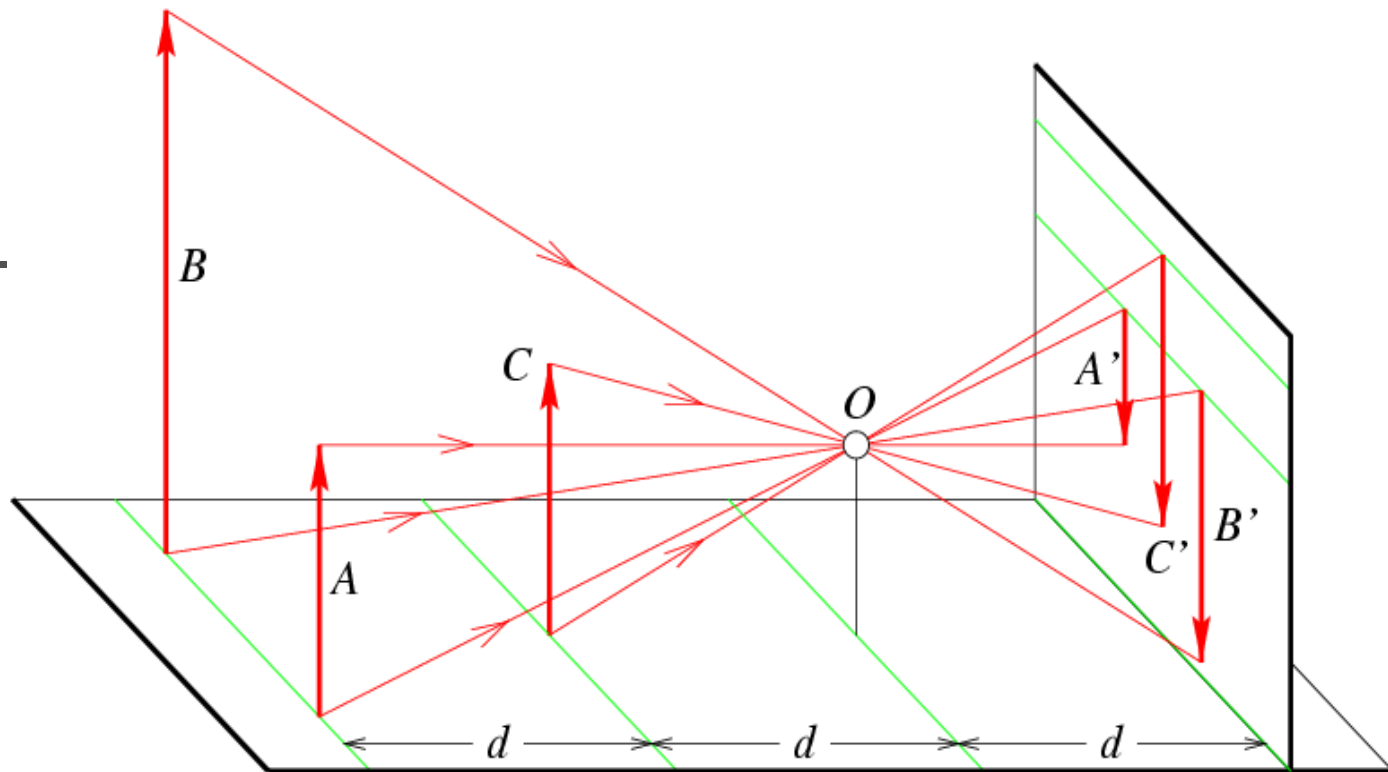
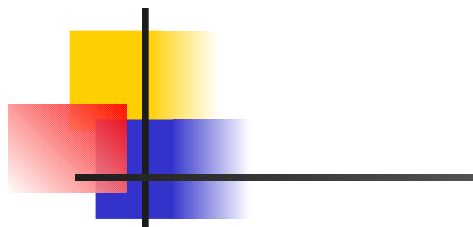


- Modèle **sans lentille** qui date du **15^e siècle**
 - on prend une boîte de carton
 - on perce un trou (sténopé) d'un côté
 - on place une vitre translucide de l'autre côté (plan image)
- Les objets apparaissent inversés sur le plan image

Caméra : effets de la perspective

- Plus les objets sont éloignés et plus ils sont petits dans l'image





Projection perspective

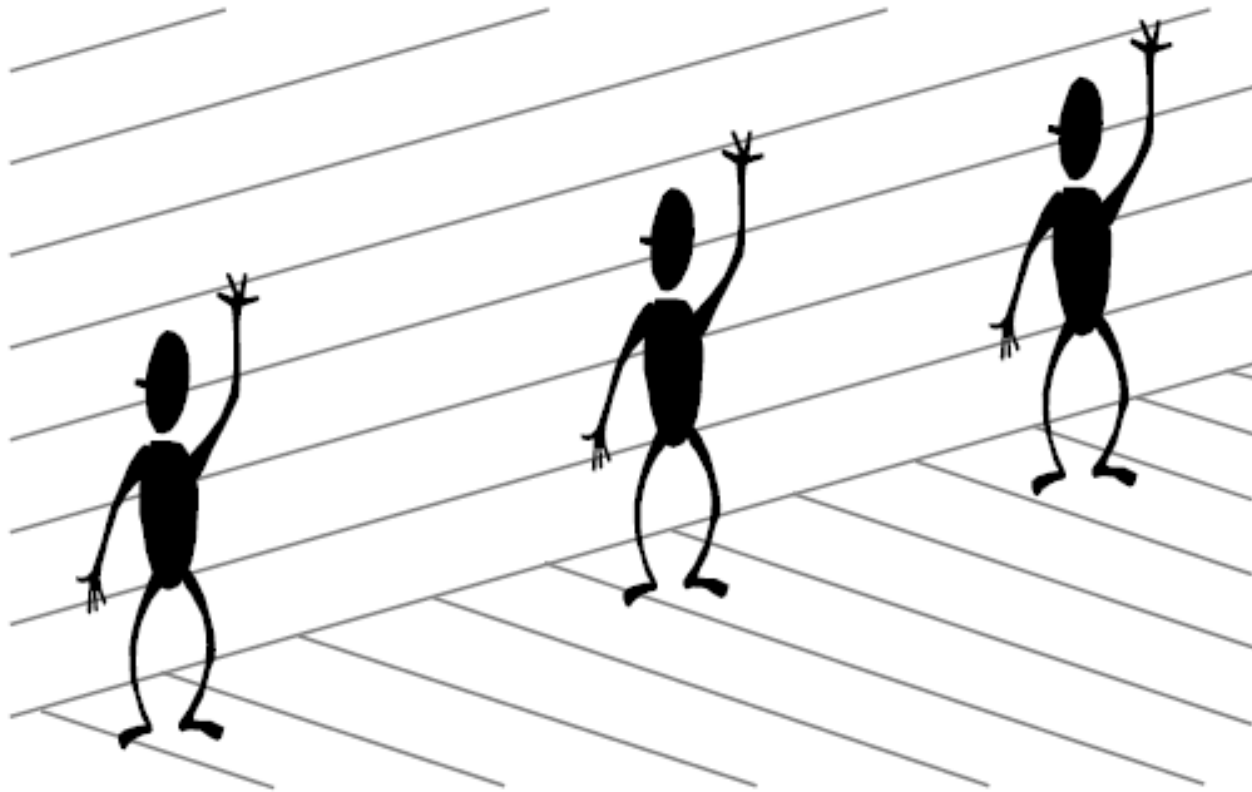


Projection perspective



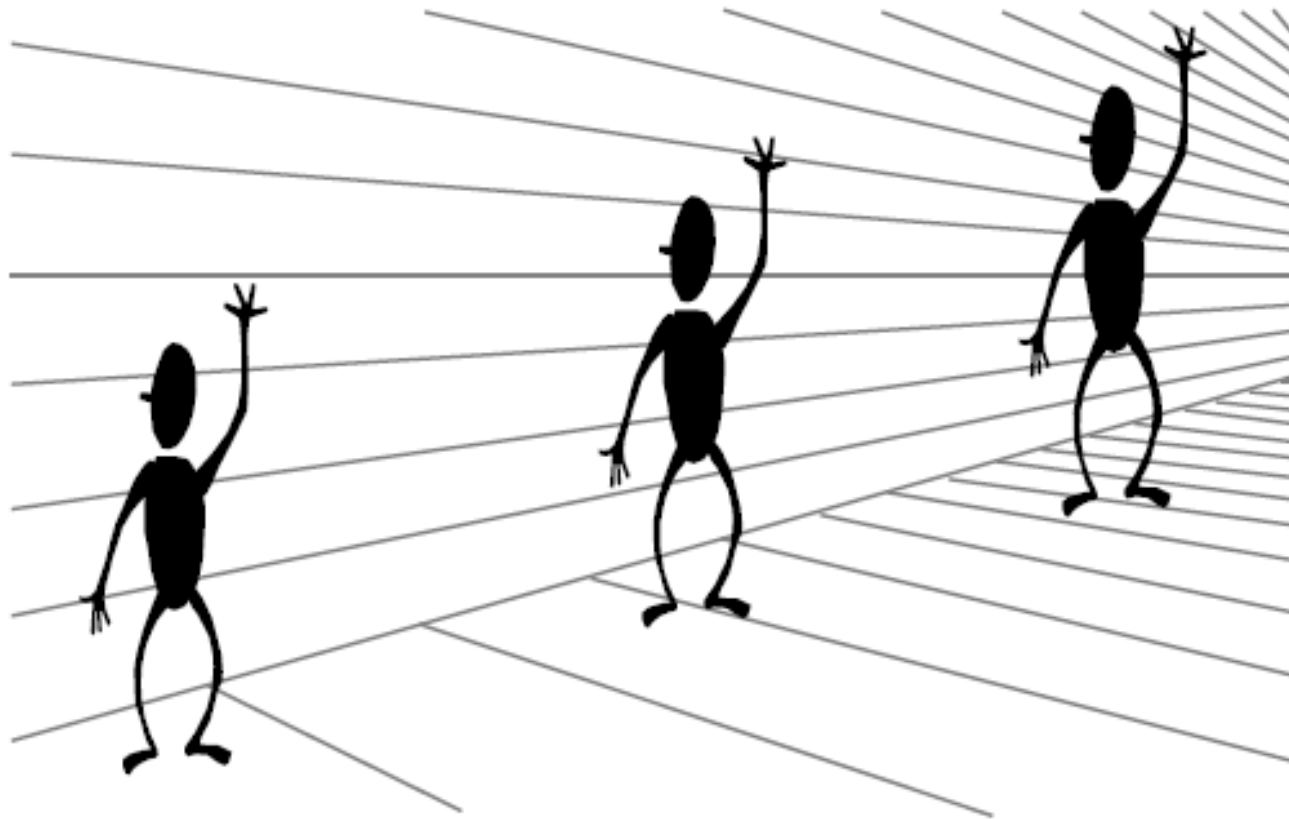


Indices de perspective



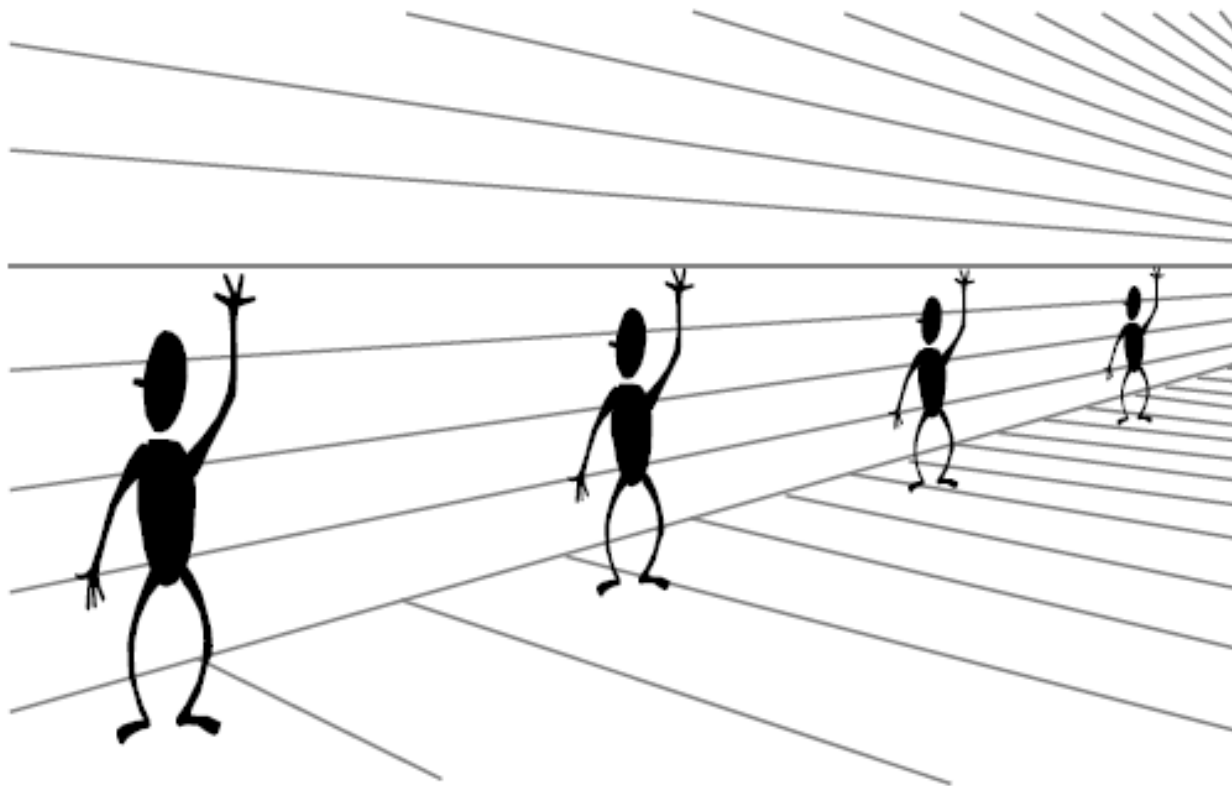


Indices de perspective

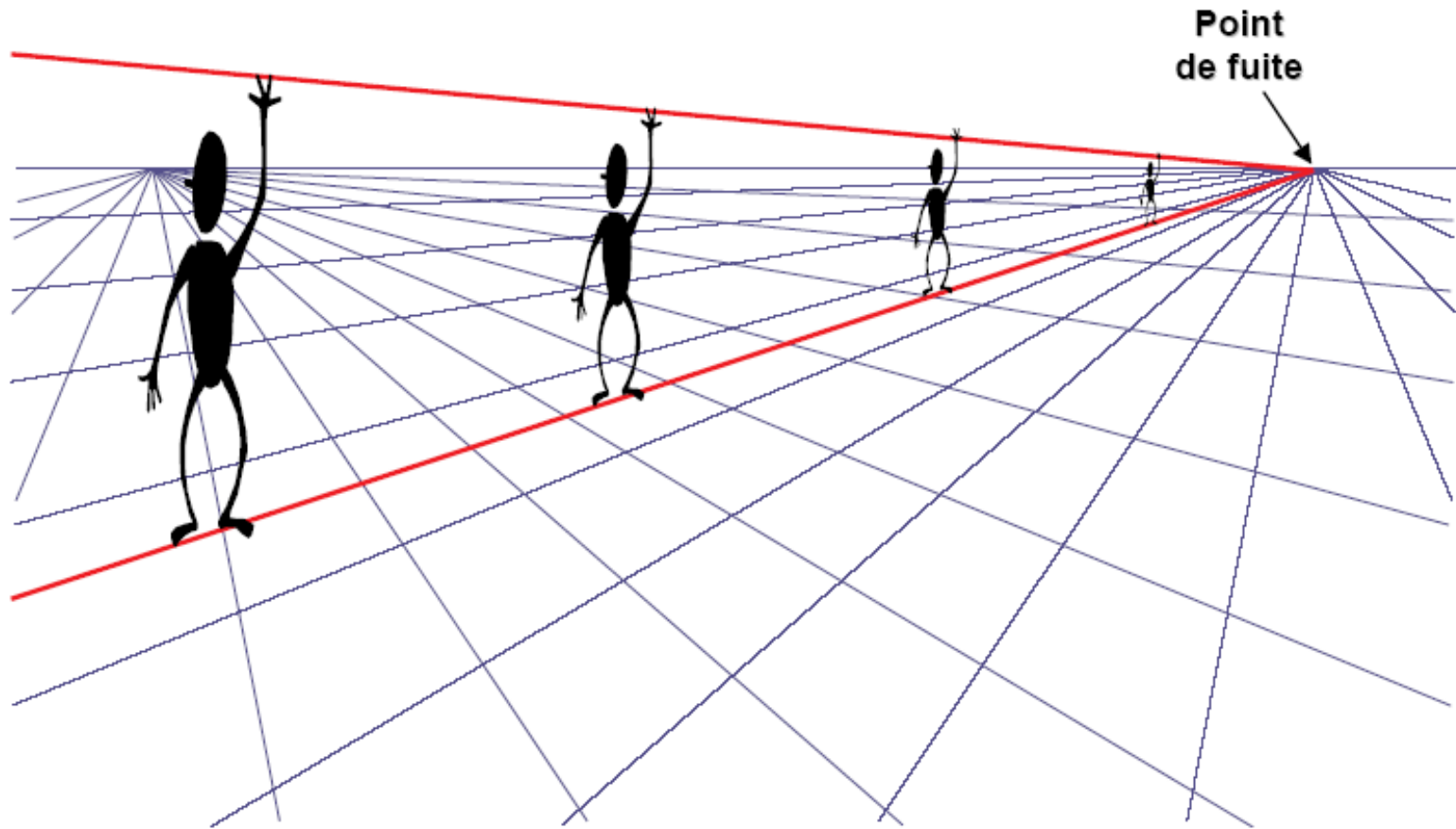




Indices de perspective

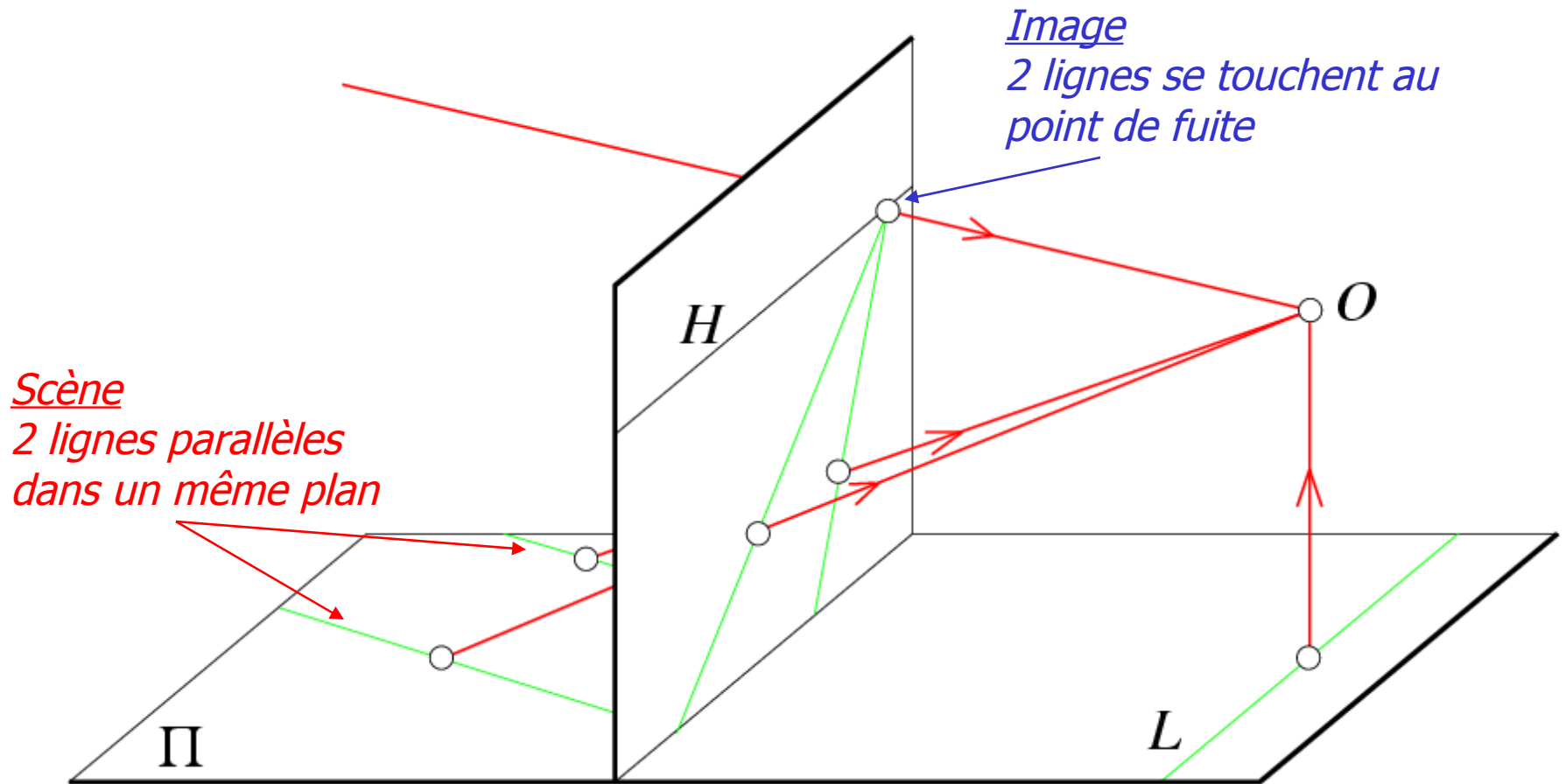


Indices de perspective



Caméra : point de fuite

- Les lignes parallèles se rejoignent en un point de l'image (point de fuite)



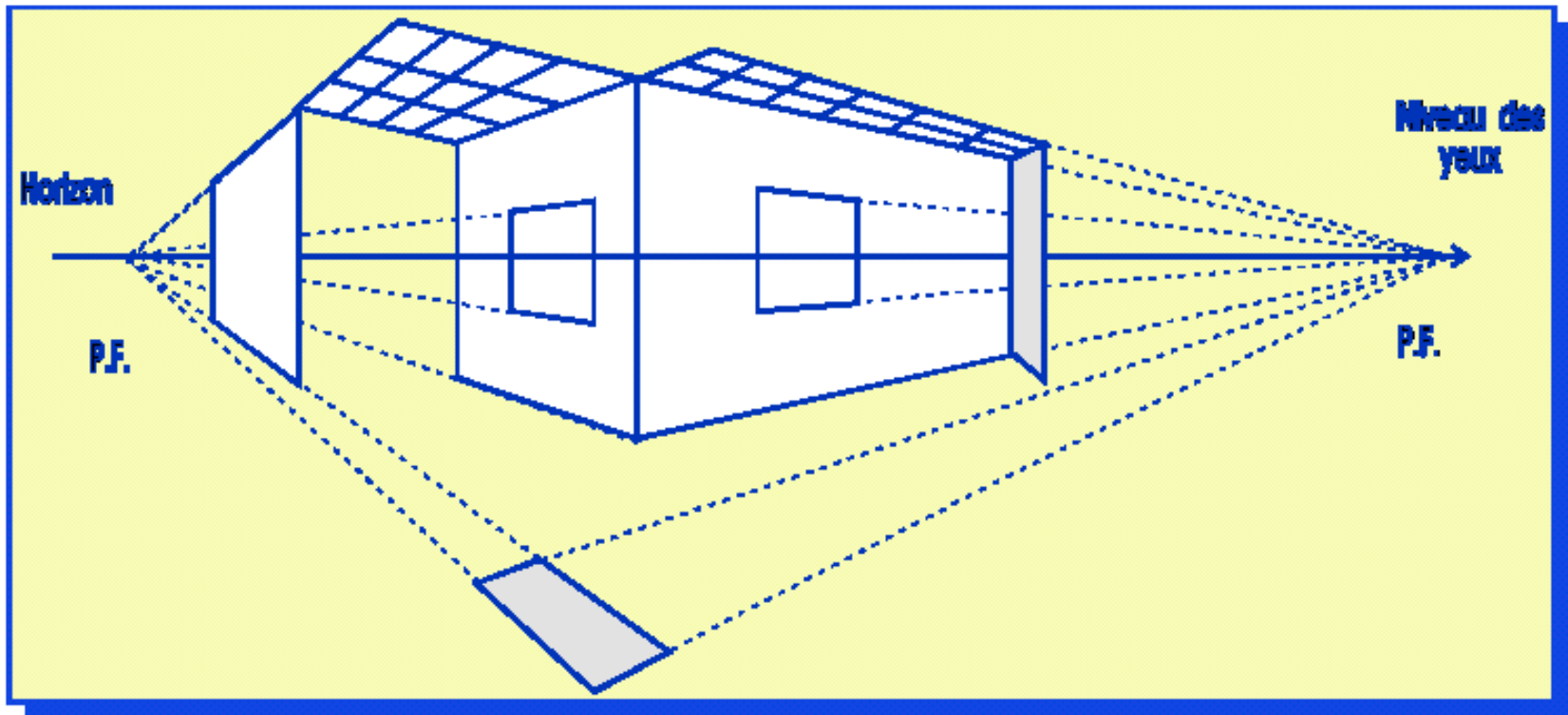


Point de fuite et ligne d'horizon

- Toutes les lignes **parallèles** se rejoignent au **point de fuite**
 - **Parallèle** = **origine différente** - **même direction**
 - Le point de fuite vaut pour cette **direction**
 - Il peut y avoir **plusieurs points de fuite** dans une image
- La **ligne d'horizon** est l'**intersection du plan image** et d'un **plan, passant par le Centre de Projection**, qui est **parallèle** à un **plan contenant un ensemble d'éléments observés** - des droites d'un plan 3D par exemple.

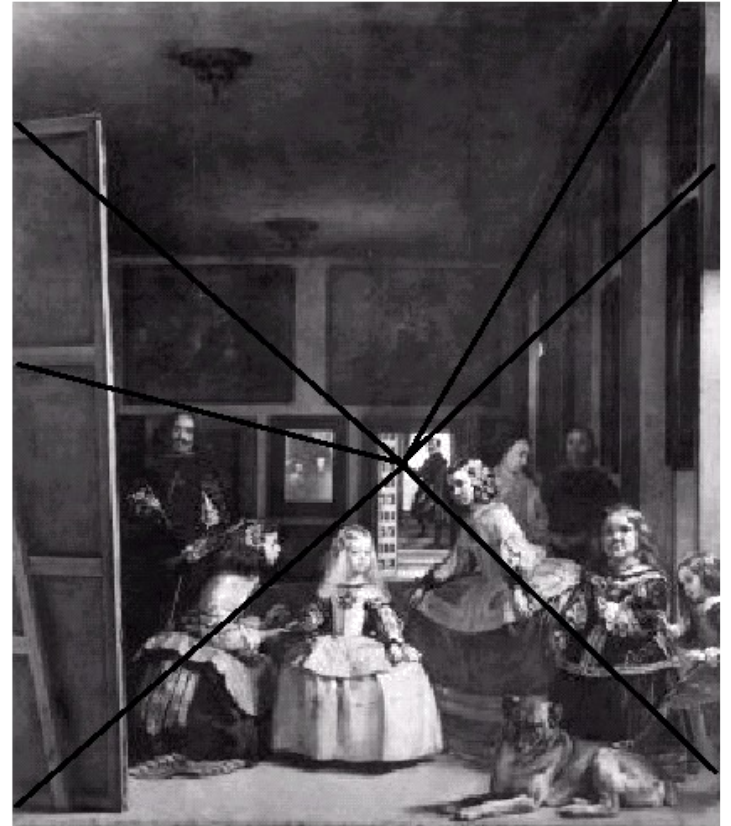
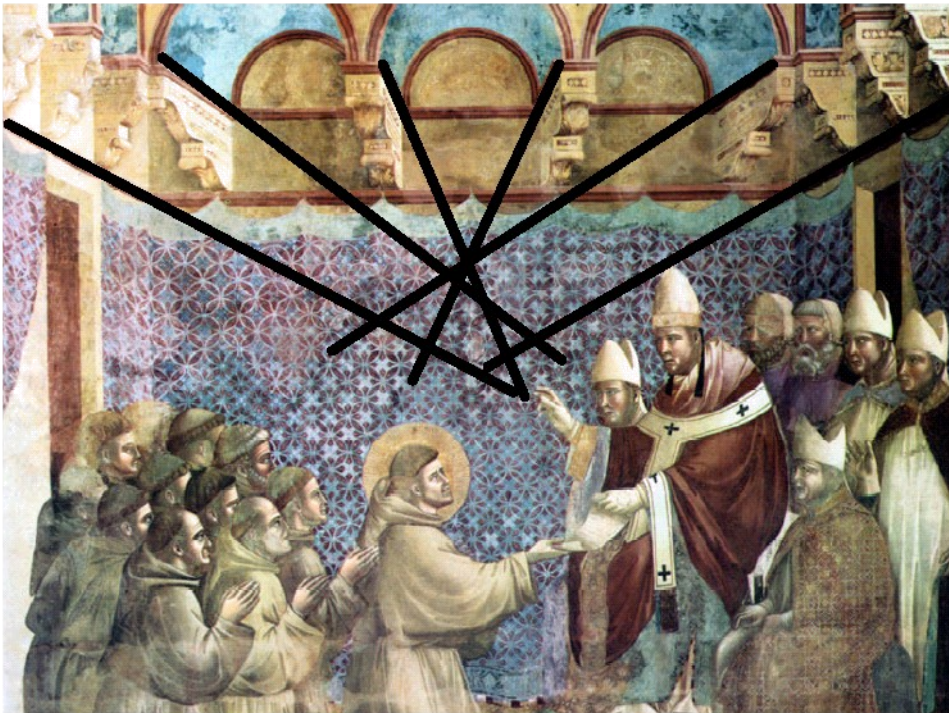
Points de fuite et ligne d'horizon

- Une image peut contenir plusieurs points de fuite



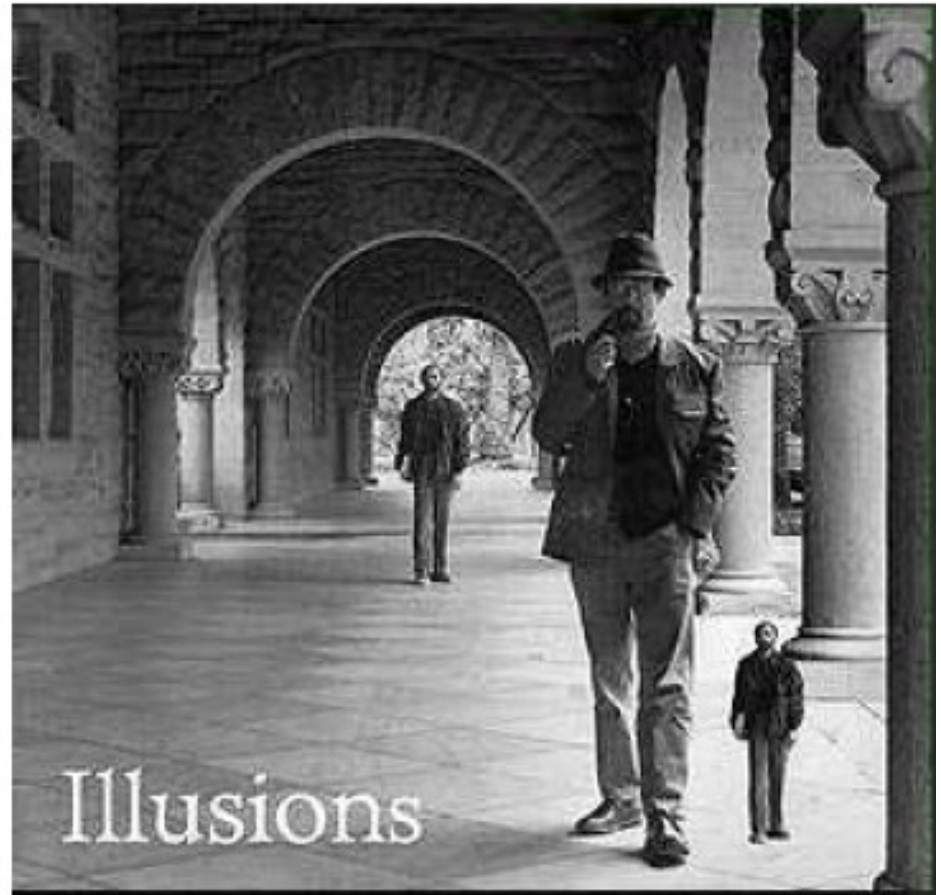
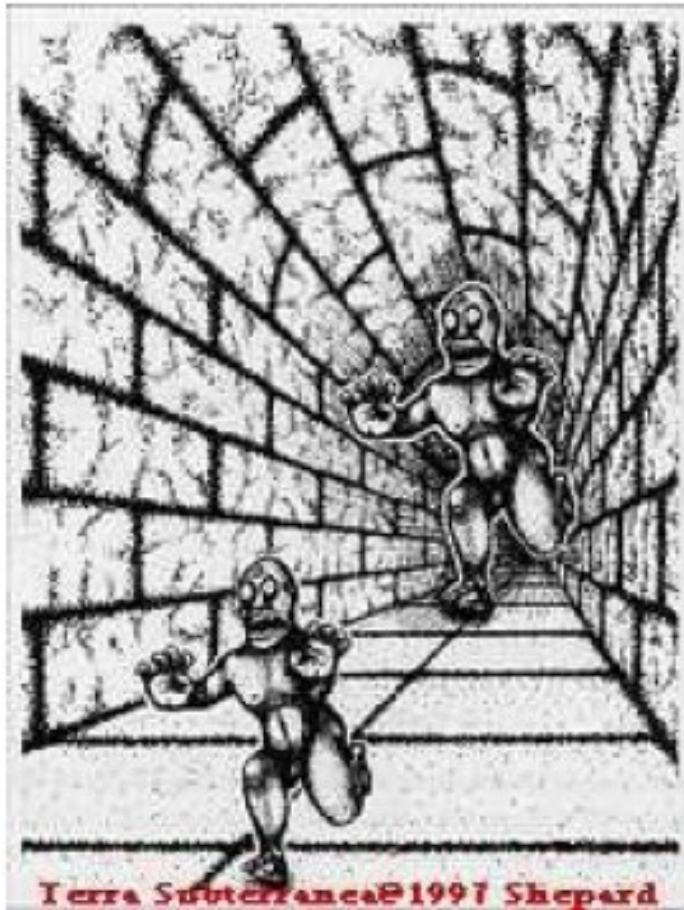
La perspective et l'histoire de l'art

Giotto, **Fondation de l'ordre des Franciscains**,
Fresque de la Basilique supérieure d'Assise
(1295-1300)

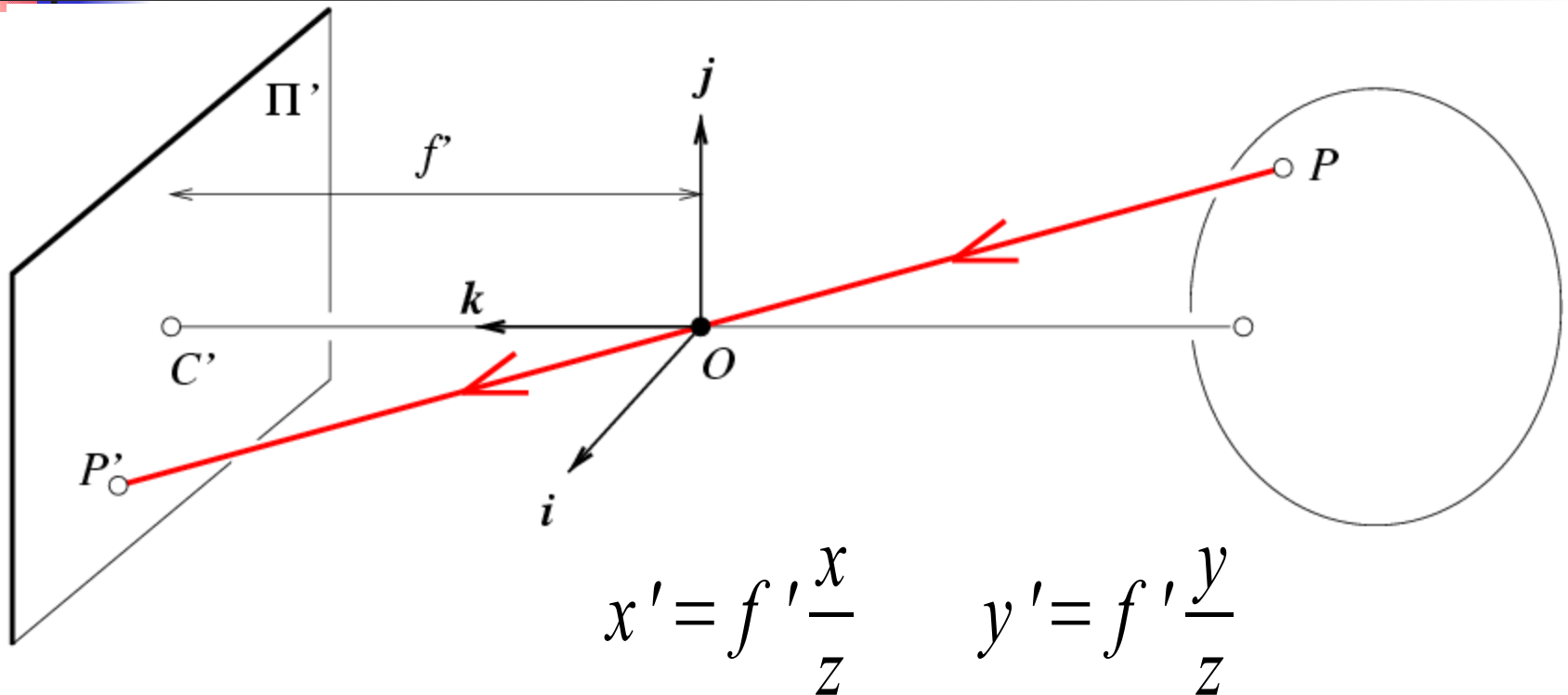


Las Meninas (1656) par
Diego Velázquez

Illusions d'optique avec la perspective



Equations de la perspective (sténopé)



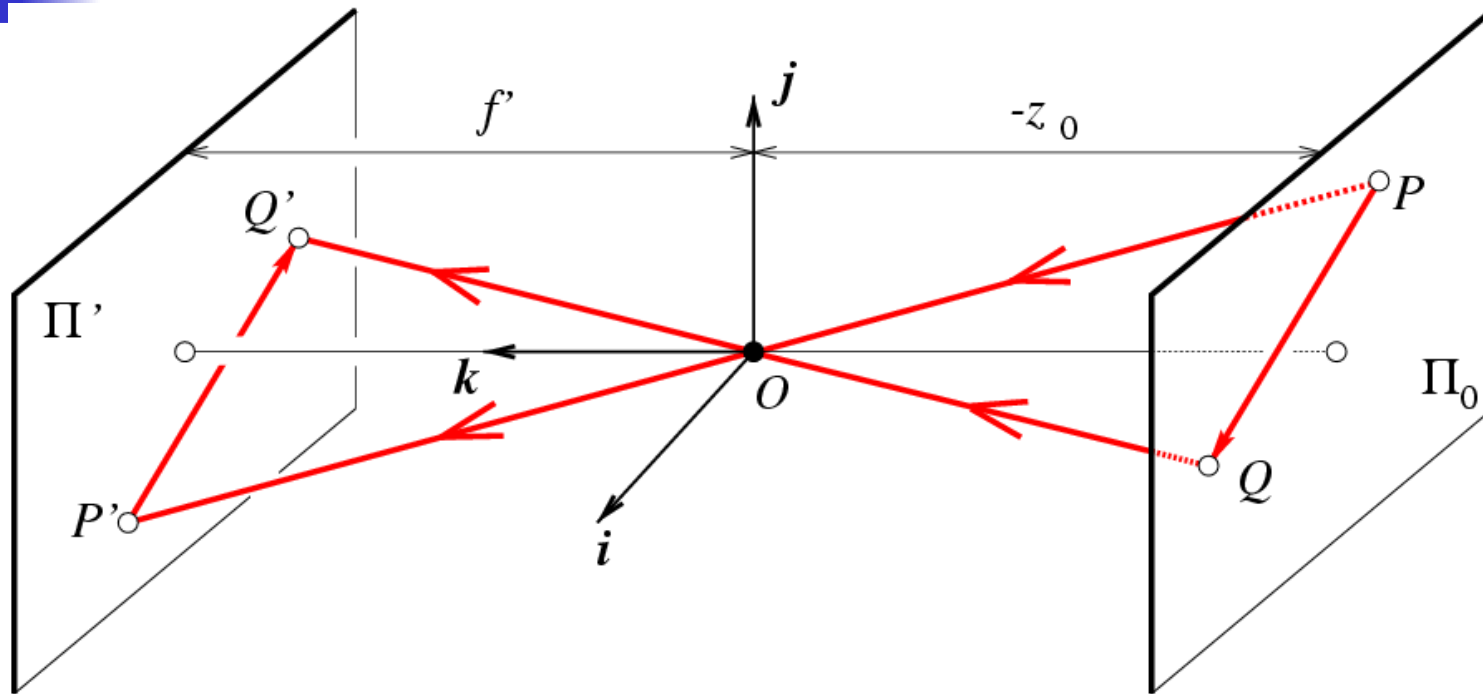
(x, y, z) : coordonnées du point 3D dans la scène (z toujours négatif)

(x', y') : coordonnées du point 2D sur le plan image

f' : distance entre l'ouverture (sténopé) et le plan image

(remarque : différent de la distance focale - pas de lentille ici)

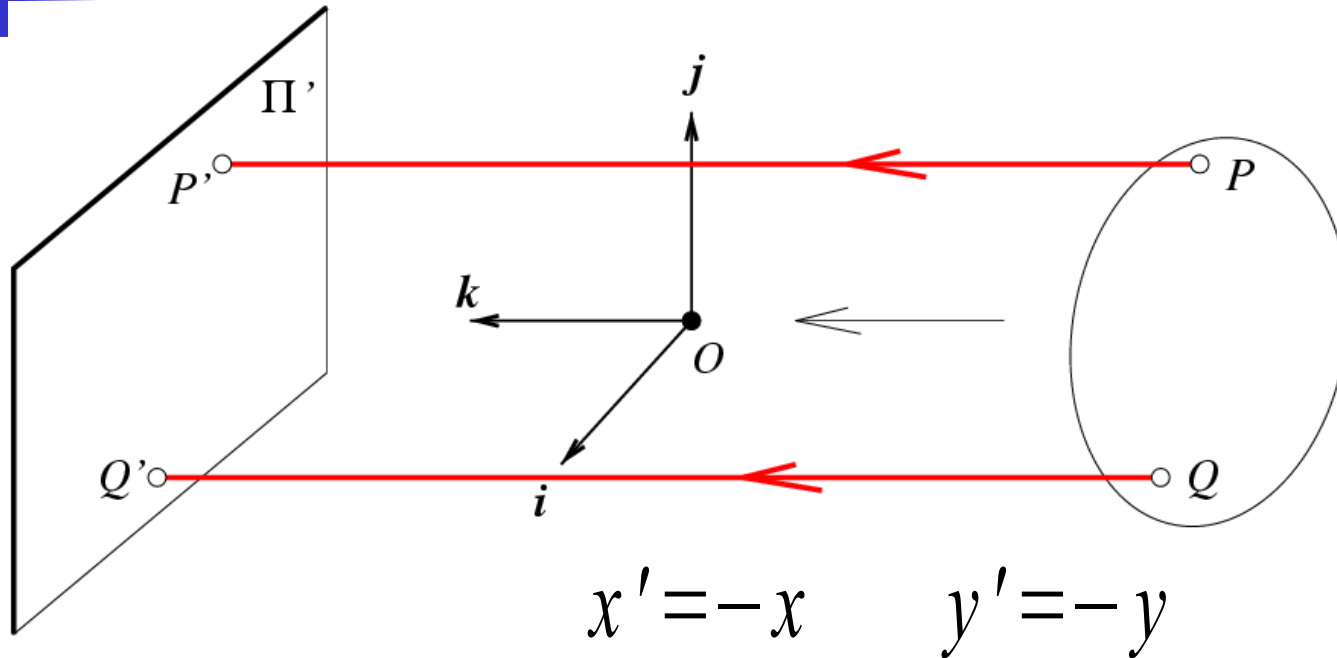
Perspective affine (modèle simple)



$$x' = -mx \quad y' = -my \quad m = -f'/z_0 \text{ facteur d'échelle (magnification)}$$

- Si la scène observée est relativement peu profonde selon z (Δz est petit), alors on considère **m** constant (perspective faible).

Projection orthographique



- Si la caméra est à une distance (presque) constante de la scène, alors on prend **$m=1$** .
- Il s'agit d'un cas très particulier de la perspective (faible).
- Peu utilisée en pratique, mais il existe des lentilles utilisant ce modèle
 - *lentilles télécentriques en vision industrielle*

Comparaison des projections

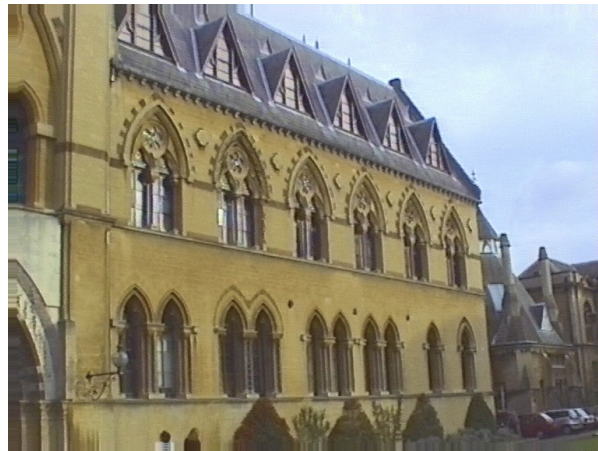
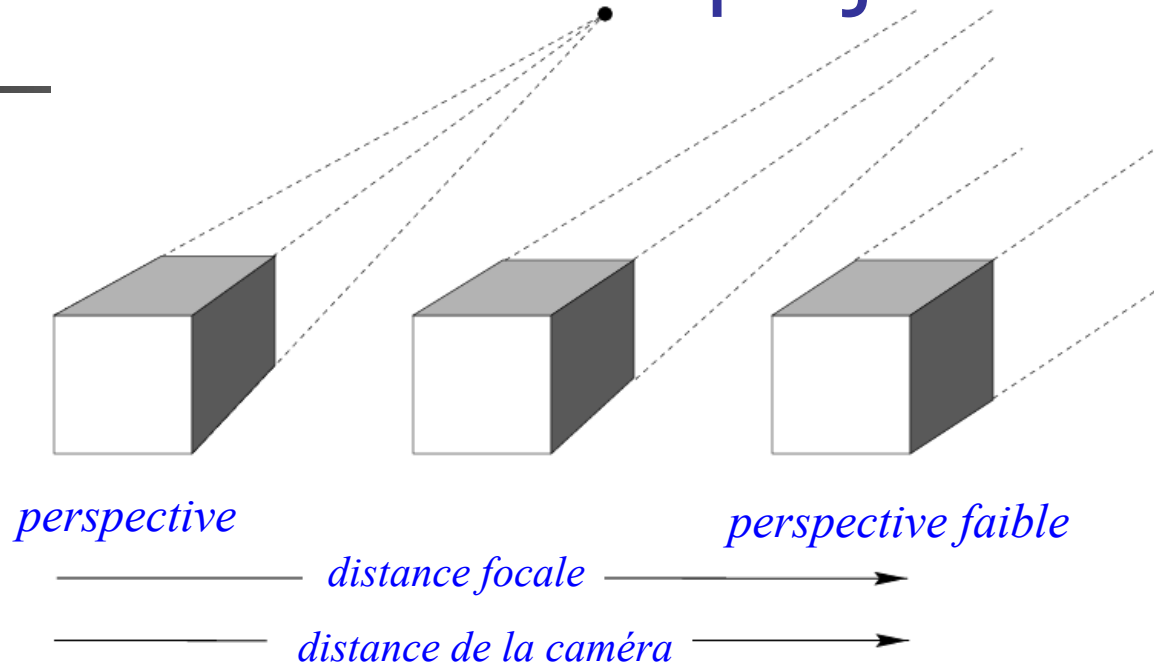


Projection orthographique



Projection perspective
2 points de fuite

Modèle continu de la projection



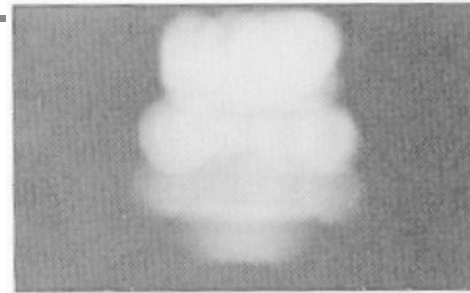


Inconvénients du sténopé

- Petite ouverture -> peu de lumière
- Effet de diffraction, i.e. courbure des rayons à cause des rebords d'objets opaques. La diffraction crée un flou. L'effet augmente si le diamètre de l'ouverture diminue.
- Si on augmente la taille de l'ouverture, la profondeur de champ diminue.

Inconvénients du sténopé

- Taille de l'ouverture ↑
 - Profondeur de champ ↓
 - Flou ↑
- Taille de l'ouverture ↓
 - Effet de diffraction
 - Flou ↑
- Images sombres



2 mm



1 mm



0.6mm



0.35 mm

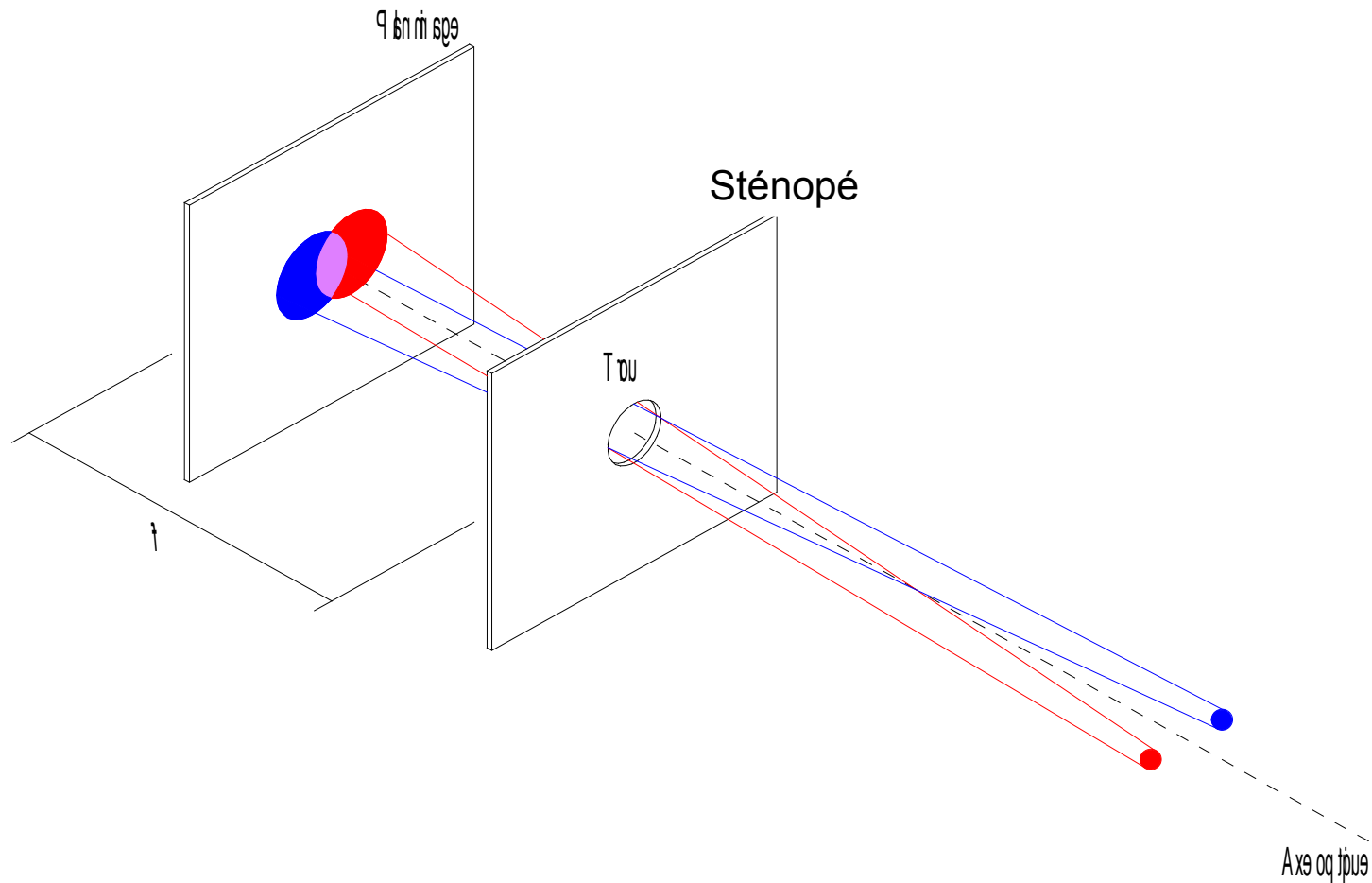


0.15 mm



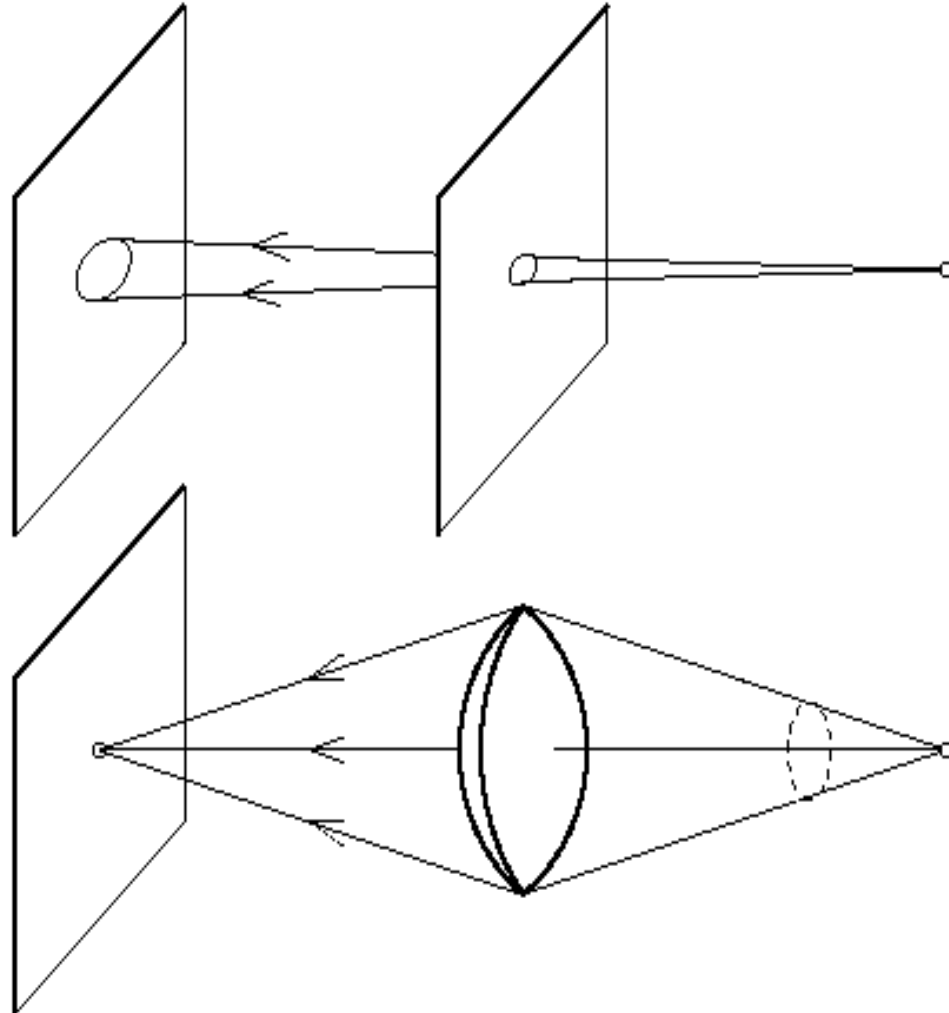
0.07 mm

Flou créé par l'augmentation de l'ouverture



Solution : caméra avec lentille

- **avantage** : modèle équivalent au sténopé
- **inconvénient** : seuls des points à une distance donnée de la lentille sont au focus
 - profondeur de champ limitée
- **Profondeur de champ** : intervalle de profondeur sur lequel les objets sont projetés avec une netteté suffisante
 - *Critère de netteté (exemple)* :
 - disque flou a un diamètre inférieur à 1 pixel



Profondeur de champ



Faible profondeur de champ



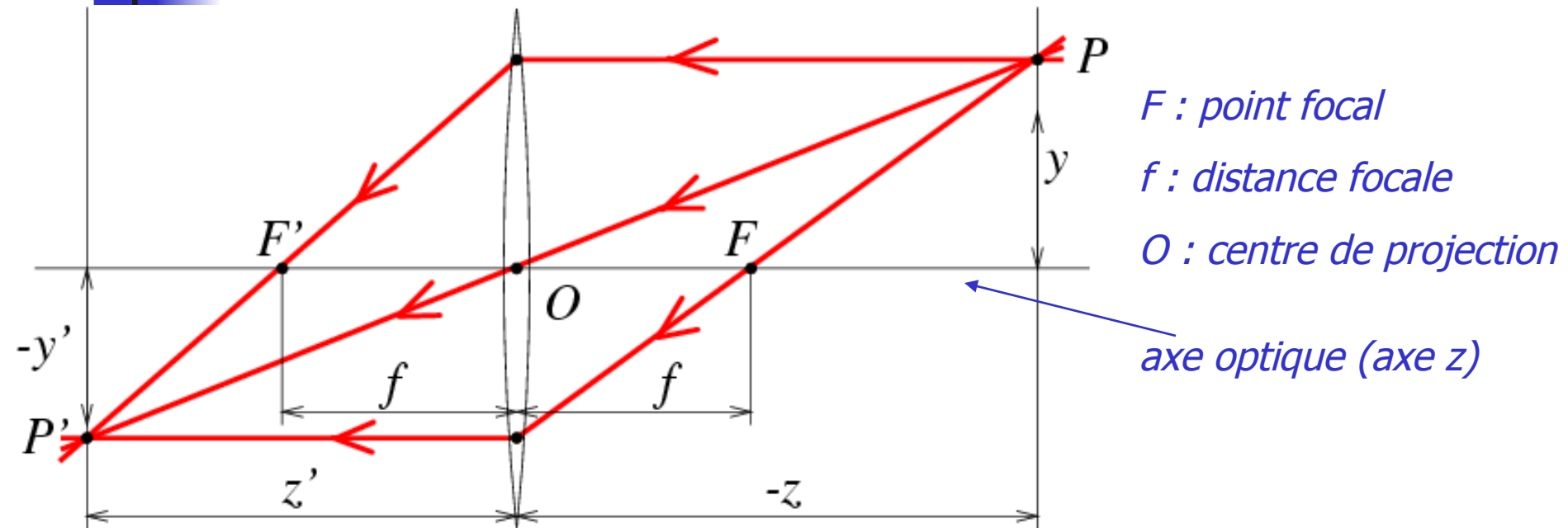
Grande profondeur de champ

Profondeur de champ



Même profondeur de champ
Variation de la distance focale

Lentille mince convergente



F : point focal

f : distance focale

O : centre de projection

axe optique (axe z)

$$\begin{cases} x' = z' \frac{x}{z} \\ y' = z' \frac{y}{z} \end{cases}$$

avec

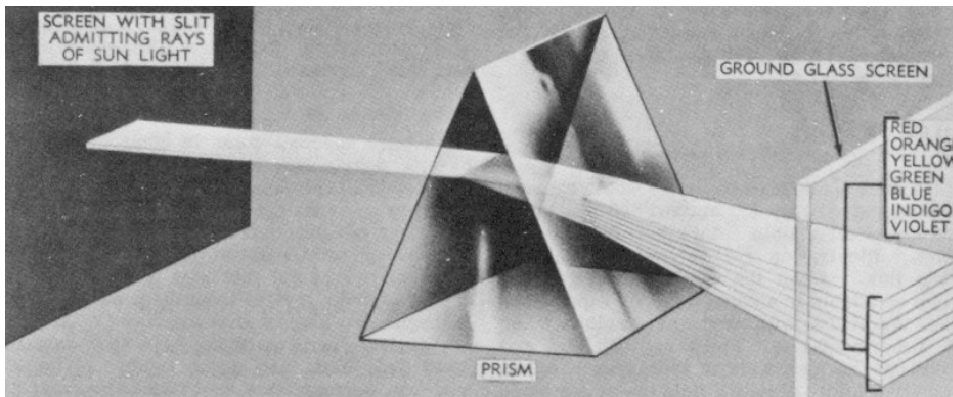
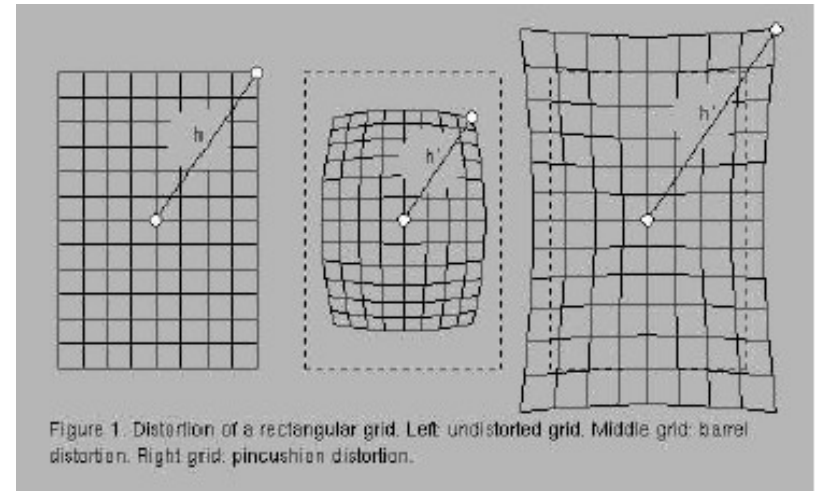
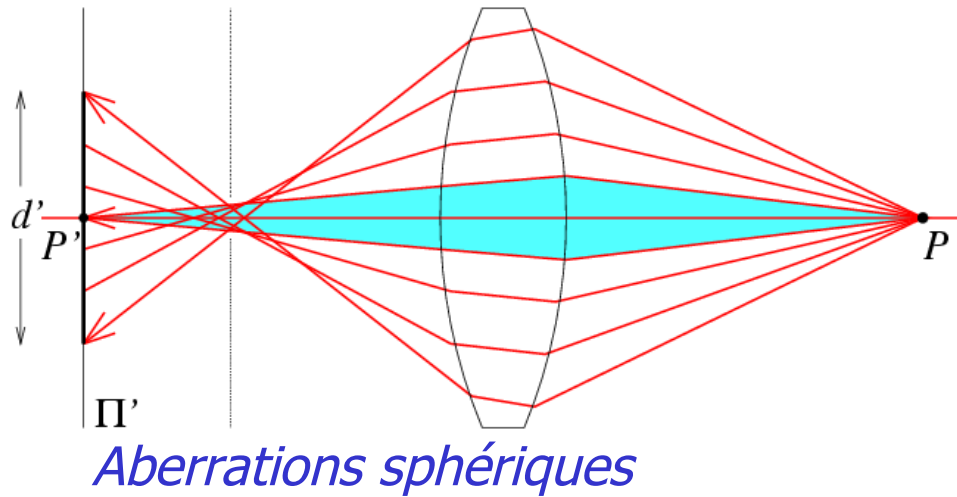
$$\frac{1}{z'} - \frac{1}{z} = \frac{1}{f}$$



Les défauts des lentilles

- **Aberrations** : caractéristiques d'une lentille qui l'empêche de former l'image d'un point objet en un seul point du plan image. Un point a plutôt comme image une petite région floue.
- **Aberrations sphériques** : s'appliquent aux points qui devraient être imagés sur l'axe optique (netteté -, dépend de l'ouverture).
 - Les réfractions loins de l'axe optique de la lentille ont tendance à ne pas bien être focalisée.
- **Distorsion radiale** : souvent importante pour les grands angles indépendant de l'ouverture, n'affecte pas la netteté.
 - Les longues lignes droites apparaîtront comme des lignes courbes.
- **Aberration chromatique** : liée à la dépendance de l'indice de réfraction à la longueur d'onde.
 - Cela signifie par exemple que la lumière bleue sera déviée différemment de la lumière rouge.

Les défauts des lentilles



Aberrations chromatiques

Exemple de distorsion spatiale



Exemple de distorsion radiale

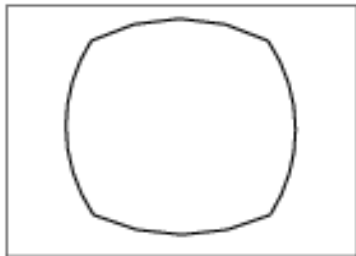


A ne pas confondre avec les effets de la perspective (lignes droites)

Correction de la distorsion radiale



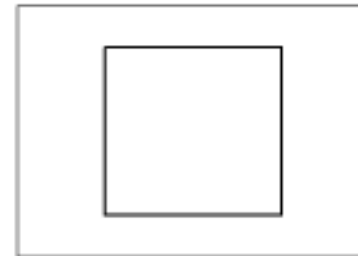
Distorsion radiale



correction

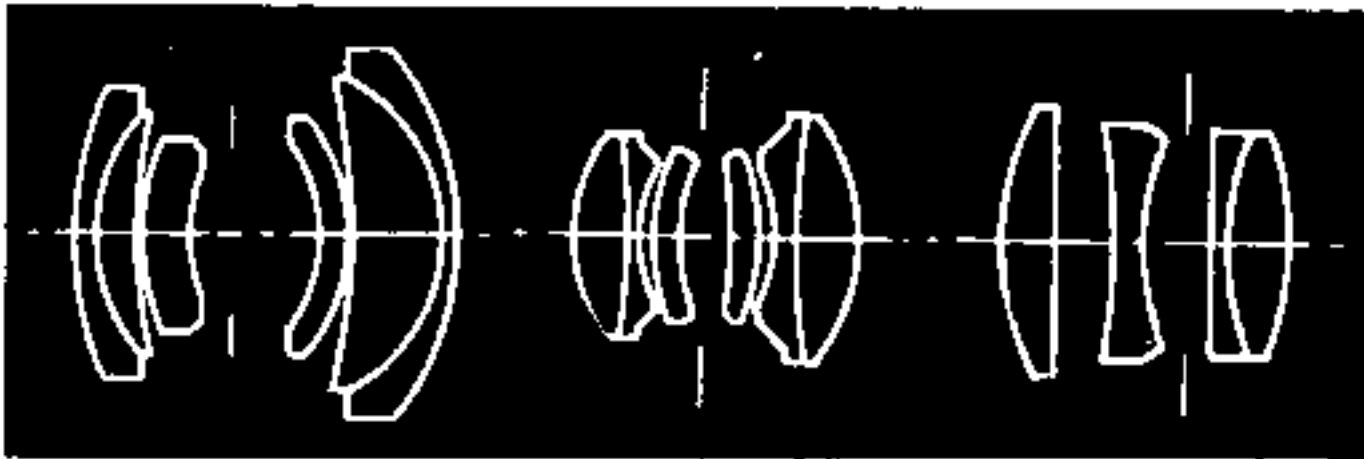


Image linéaire



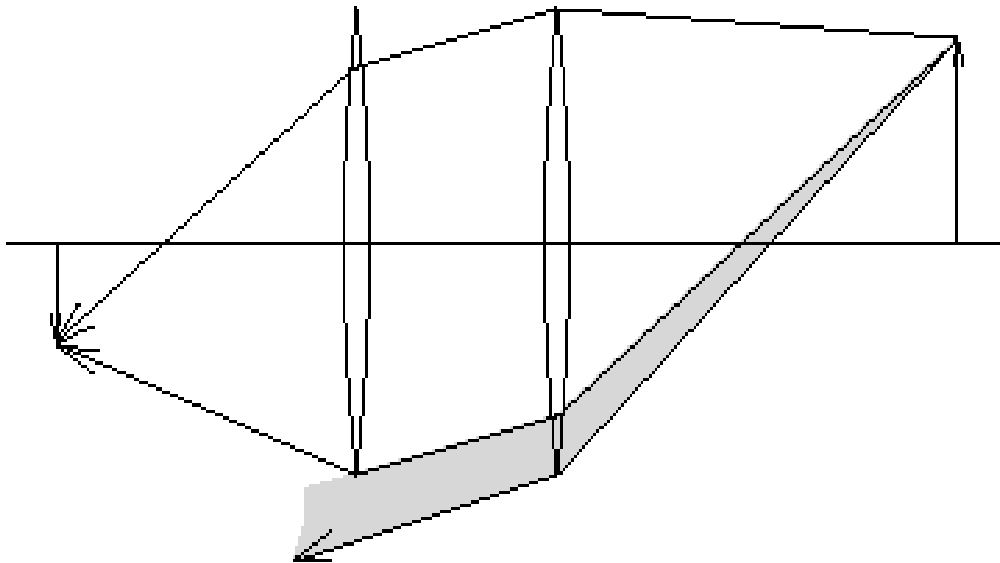
Lentilles complexes

- **Problème** : les lentilles dévient les rayons et causent un déplacement ainsi qu'un flou pour le point idéal.
- **But** : réduire les aberrations
- **Solution** : un arrangement de plusieurs lentilles



Lentilles complexes

- **Compromis** : le *vignettage*
- **Effet** : l'illuminance décroît vers la périphérie de l'image





Références

(voir aussi la page web du cours)

- Cours INF2701 Infographie et CAO, Ecole Polytechnique de Montréal (Canada).
 - <http://www.cours.polymtl.ca/inf2701/>
- Kostas Daniilidis, Machine Perception (CIS 580 Fall 2007), University of Pennsylvania (USA).
 - <http://www.seas.upenn.edu/~cis580/home.html>
- Marc Pollefeys, Multiple View Geometry (comp290-89 Spring 2003), University of North Carolina (USA).
 - Class 09 Camera calibration: <http://www.cs.unc.edu/~marc/mvg/course09.ppt>