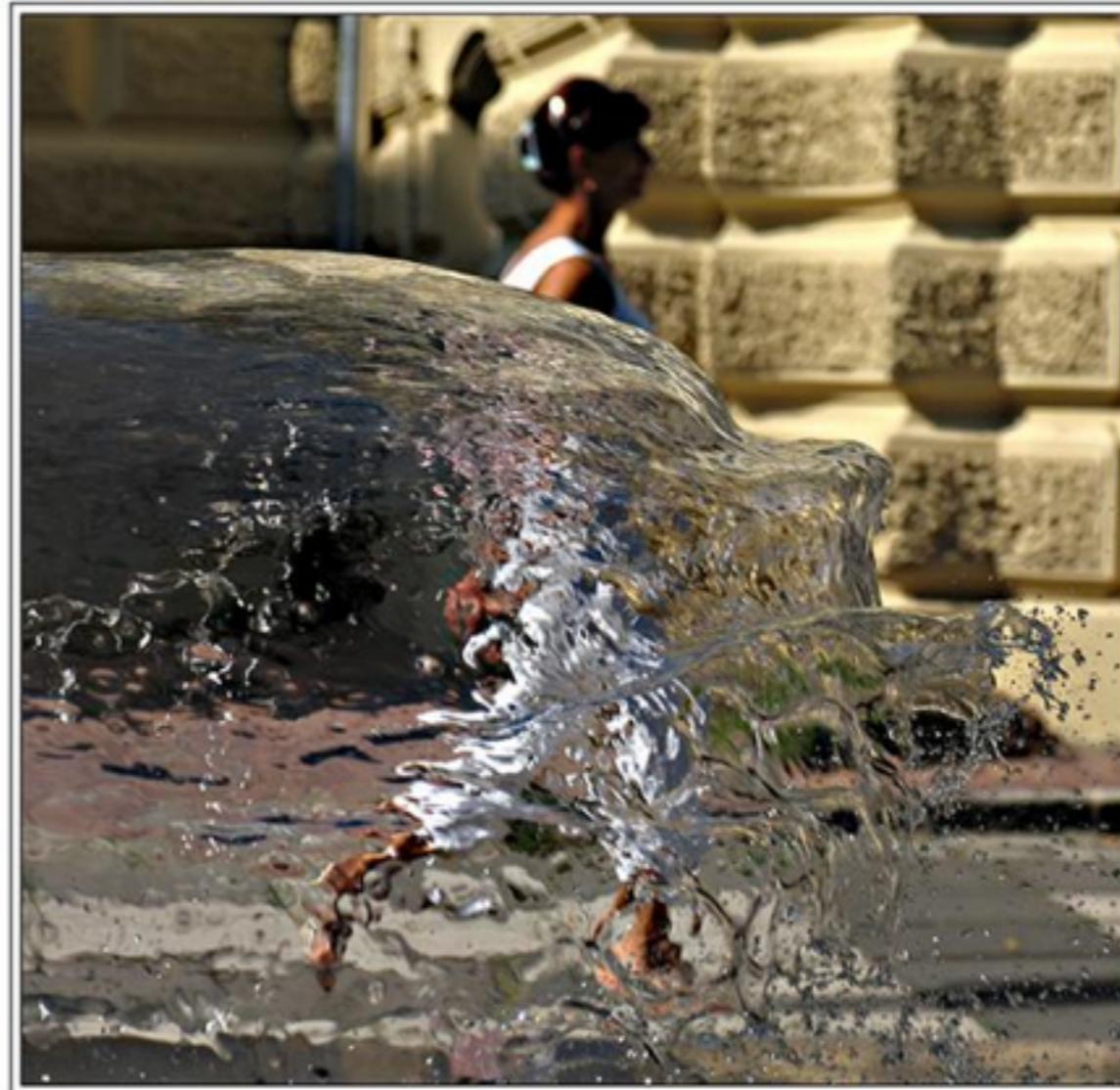


# La caméra



*(c) Tomasz Pluciennik*

GIF-4105/7105 Photographie Algorithmique  
Jean-François Lalonde

# Petit rappel

- TP3 dû ce dimanche (16 mars) à 23h59
- L'énoncé du TP4 sera disponible mercredi

# Administration

- 7 avril: élections provinciales!



- Quand reprendre le cours?

# Cheminement

- Deuxième section complétée!

- Synthèse et transfert de textures



- Découper des images, copier des objets

- Transformer, déformer les images

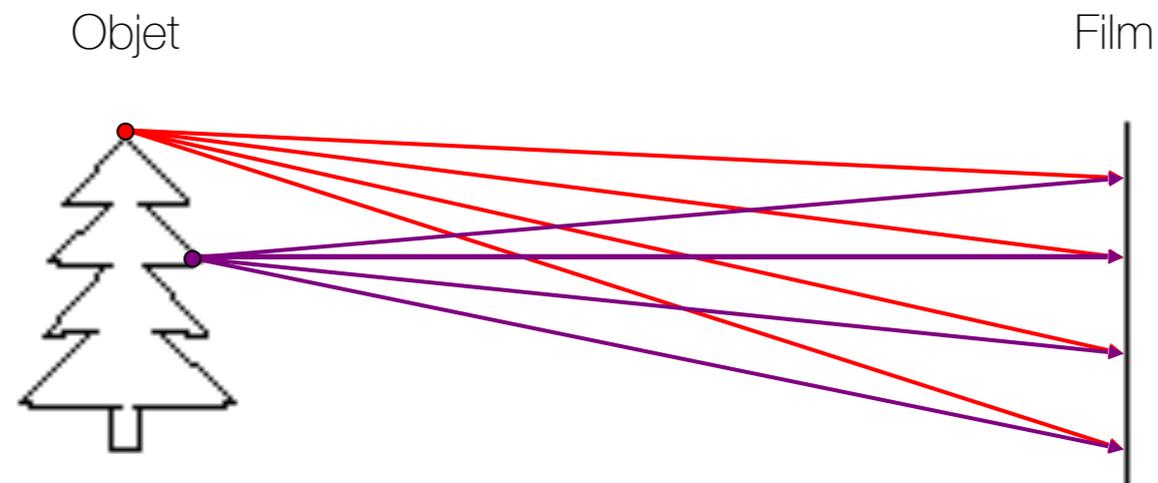


# Cheminement

- Nouvelle section: panoramas!
  - Modèles de caméra
  - Géométrie projective, homographies
  - Détection de points d'intérêts, appariement
  - Génération de mosaïques
- TP4: créez vous-mêmes vos propres panoramas (avec votre algorithme)

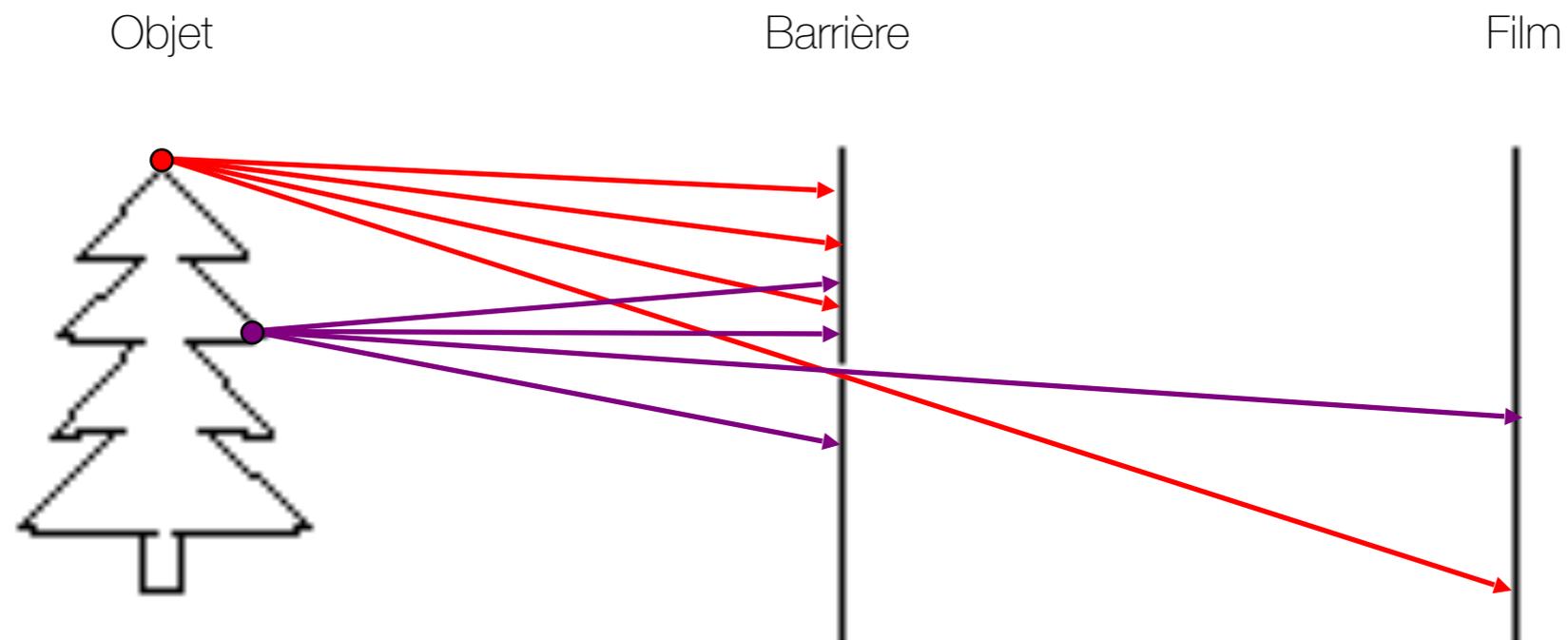
# Formation de l'image

- Faisons le design de notre propre caméra
- Idée 1: plaçons un film en face d'un objet
  - Quelle image obtenons-nous?

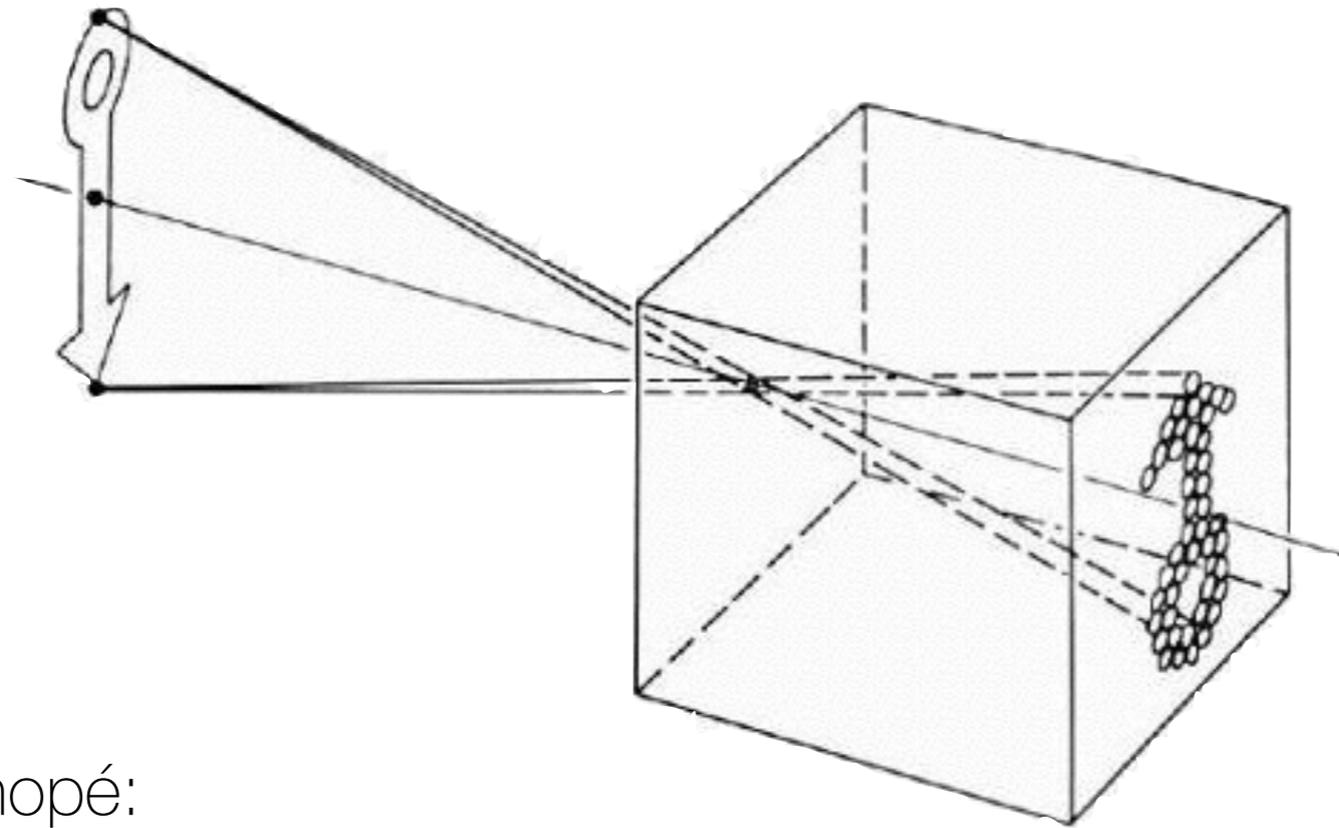


# Le sténopé (“pinhole”)

- Idée 2: rajouter un barrière pour laisser passer seulement certains rayons
  - Cela réduit le flou
  - La “barrière”: l’ouverture



# Le sténopé



- Modèle sténopé:
  - Capture un pinceau de lumière: tous les rayons passant par un point (le trou)
  - Le point est nommé le “centre de projection”
  - L’image est formée sur le “plan de l’image”
  - La droite perpendiculaire au plan de l’image et passant par le centre de projection est nommée “l’axe optique”
  - La distance focale est la distance entre le centre de projection et le plan de l’image

# Réduire les dimensions: 3D → 2D

Monde (3D)

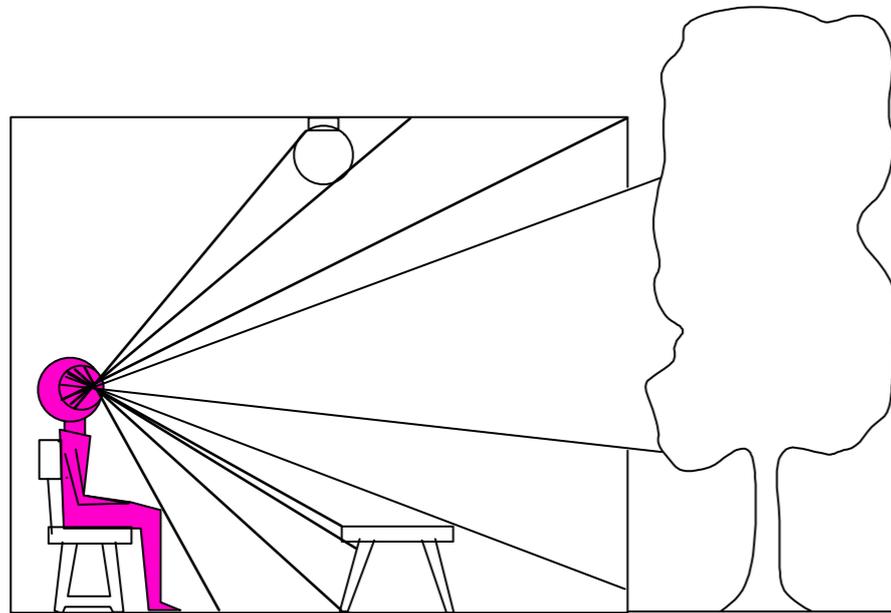
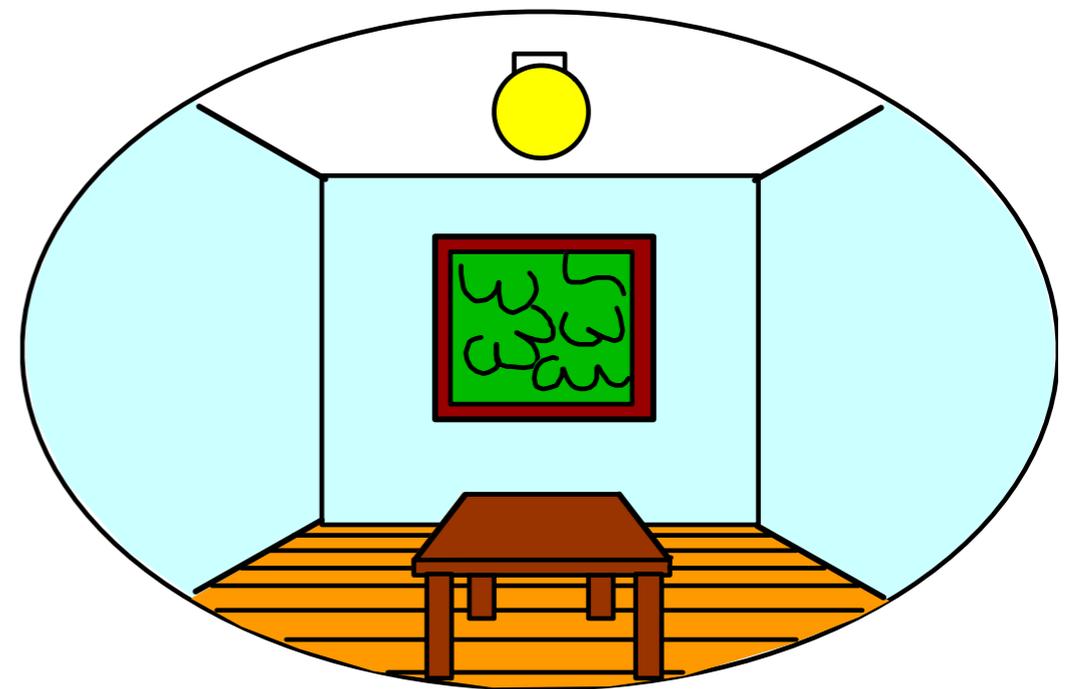
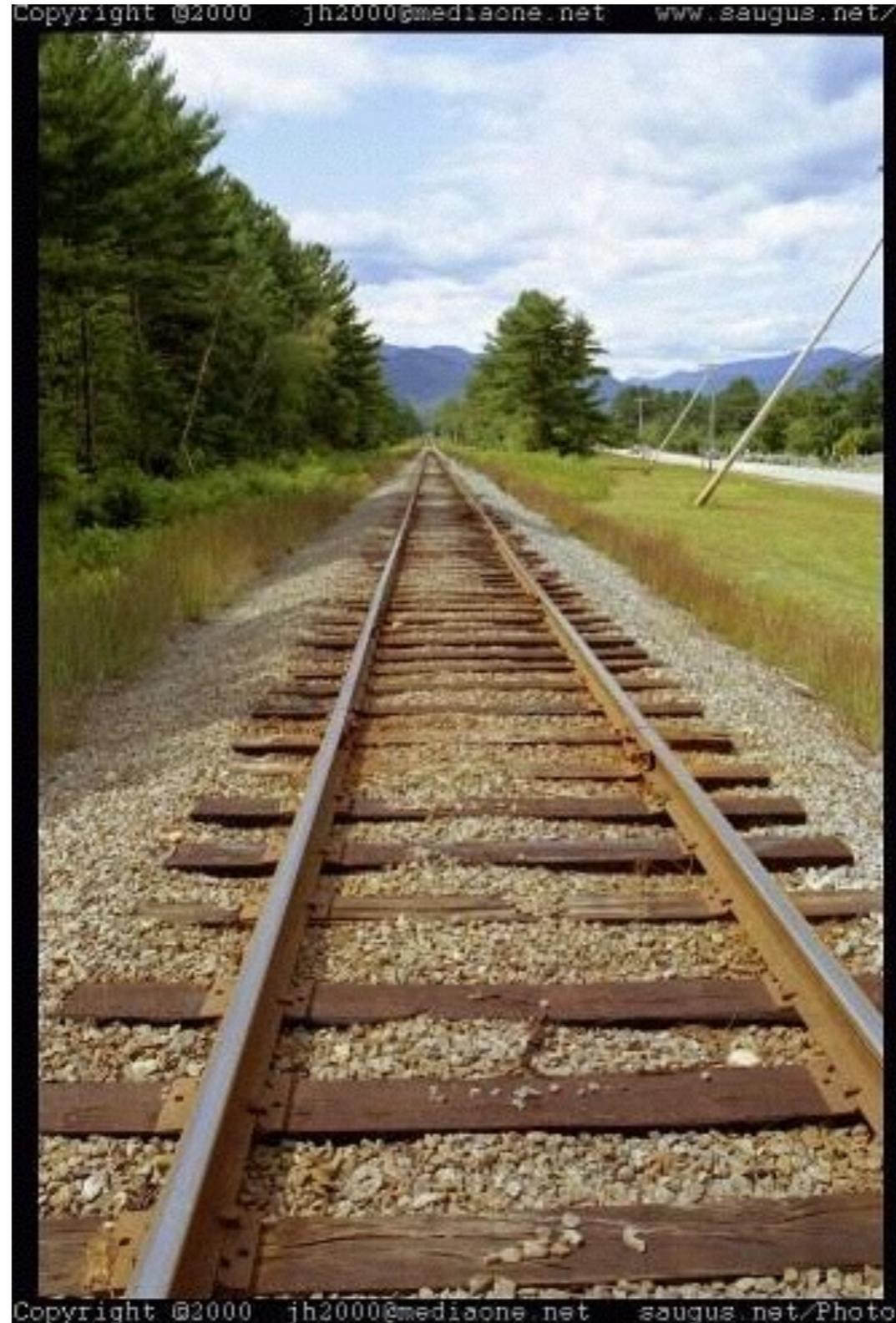


Image (2D)

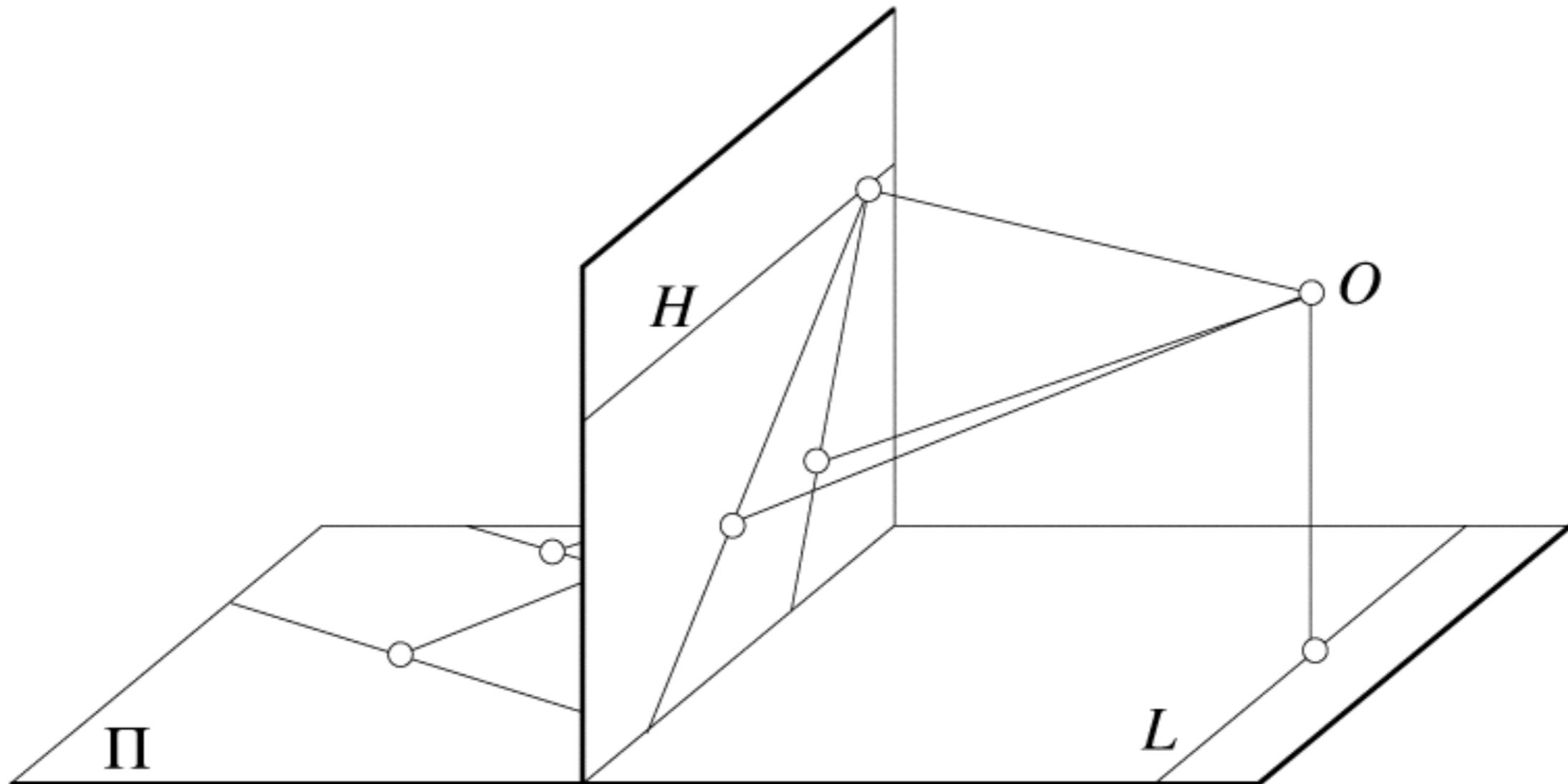


- On perd une dimension!

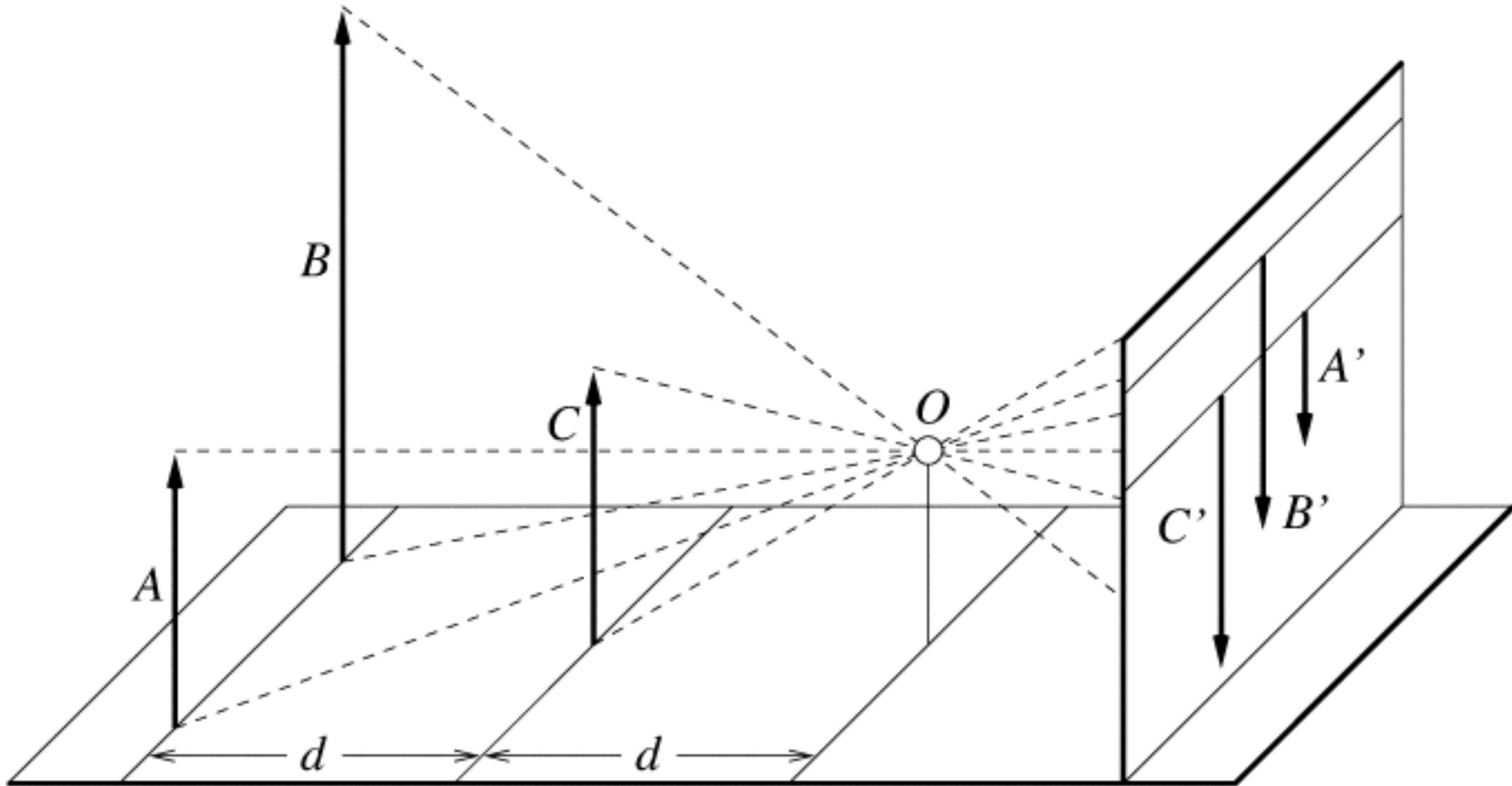
Des choses bizarres dans le plan de l'image...



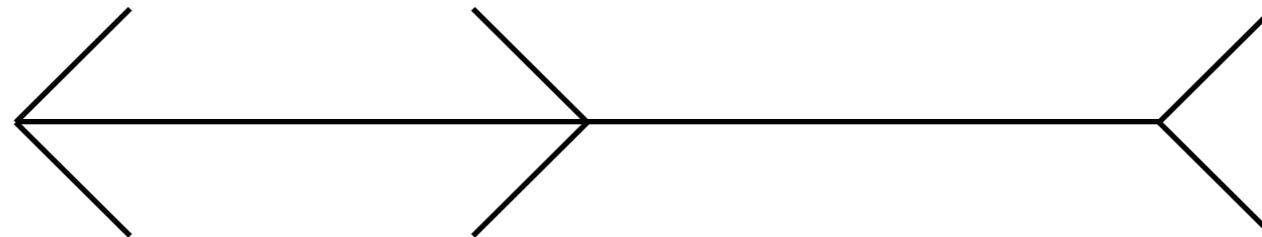
Les lignes parallèles ne le sont plus...



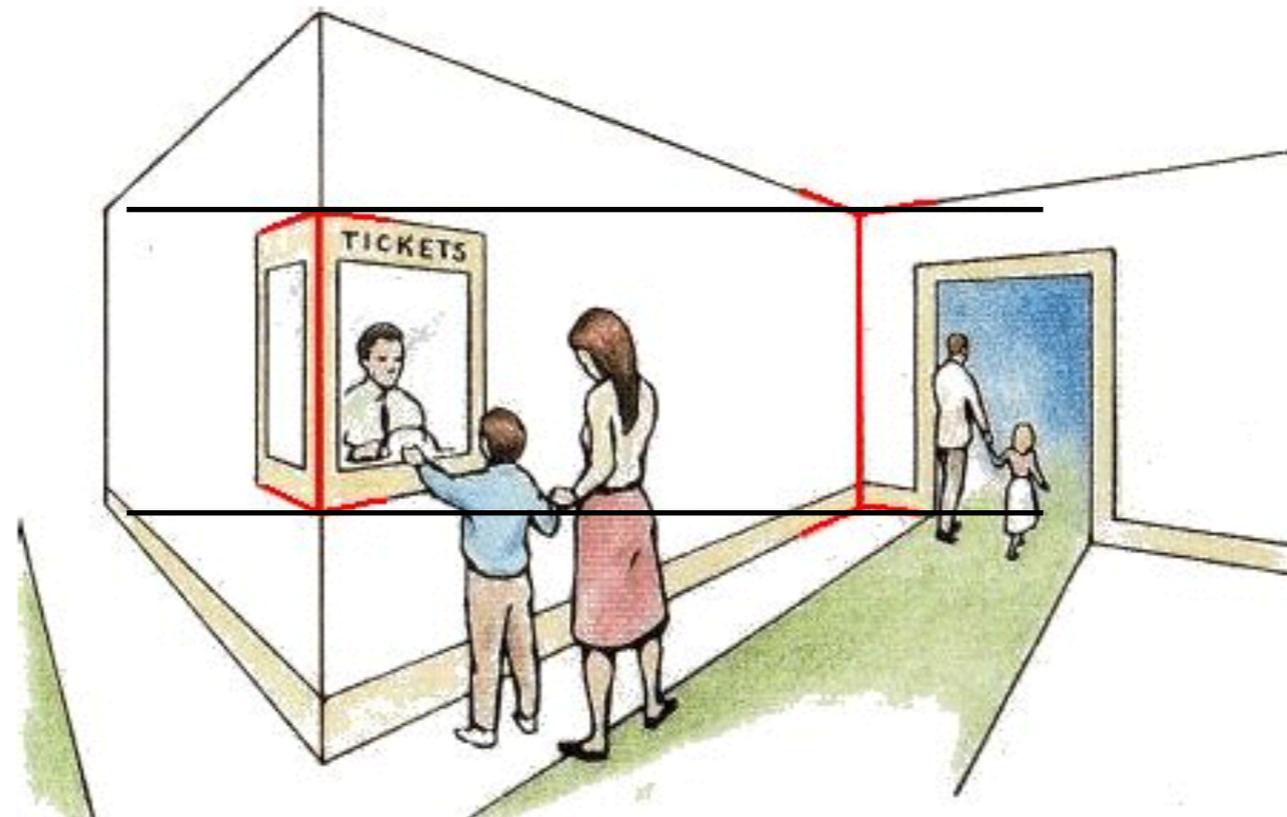
On ne peut se fier aux longueurs...



...mais les humains l'utilisent quand même!



Illusion de Müller-Lyer



Nous ne prenons pas de mesures dans le plan de l'image

# Modélisons la projection

- Le système de coordonnées
  - Employons le modèle du sténopé
  - Centre de projection à l'origine
  - Plan de l'image à l'avant du centre de projection
    - Pourquoi?
- La caméra regarde dans la direction négative de l'axe "z"

# Modélisons la projection

- Équations de projection
  - Calculer l'intersection avec le plan de l'image
  - Triangles similaires (au tableau!)

# Modélisons la projection

- Est-ce que c'est linéaire?  $x' = f \frac{x}{z}$      $y' = f \frac{y}{z}$ 
  - Non! Il faut diviser par  $z$ ...
- Quoi faire?
  - Coordonnées homogènes!

# Coordonnées homogènes

- Représente des coordonnées 2-D avec un vecteur à 3 éléments

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{Coordonnées homogènes}} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{Point 2D}} \begin{bmatrix} x/w \\ y/w \end{bmatrix}$$

# Coordonnées homogènes

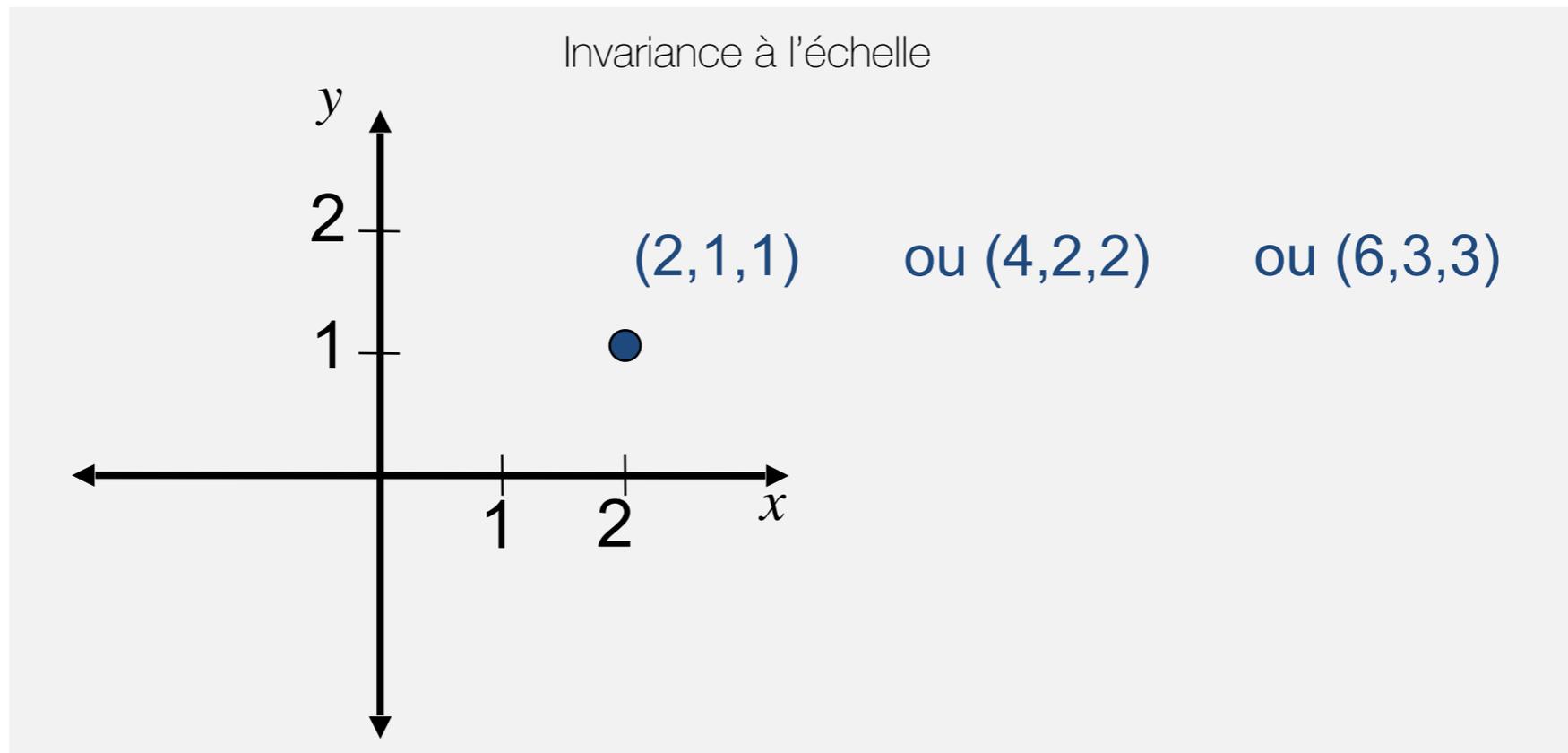
- Propriétés:

- Invariance au facteur d'échelle

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix}$$

- $(x, y, 0)$  représente un point à l'infini

- $(0, 0, 0)$  n'est pas permis



# Représentation matricielle

- La projection est une multiplication matricielle en coordonnées homogènes:

$$\begin{bmatrix} wx' \\ wy' \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

- La matrice de projection!
- Forme simple car nous avons fait plusieurs hypothèses...

# Hypothèse #1

- Nous connaissons le centre de l'image
- Sinon?

$$\begin{bmatrix} wx' \\ wy' \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & u_0 \\ 0 & f & 0 & v_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

# Hypothèse #2

- Les pixels sont carrés
- Sinon?

$$\begin{bmatrix} wx' \\ wy' \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & 0 & u_0 \\ 0 & \beta & 0 & v_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

# Hypothèse #3

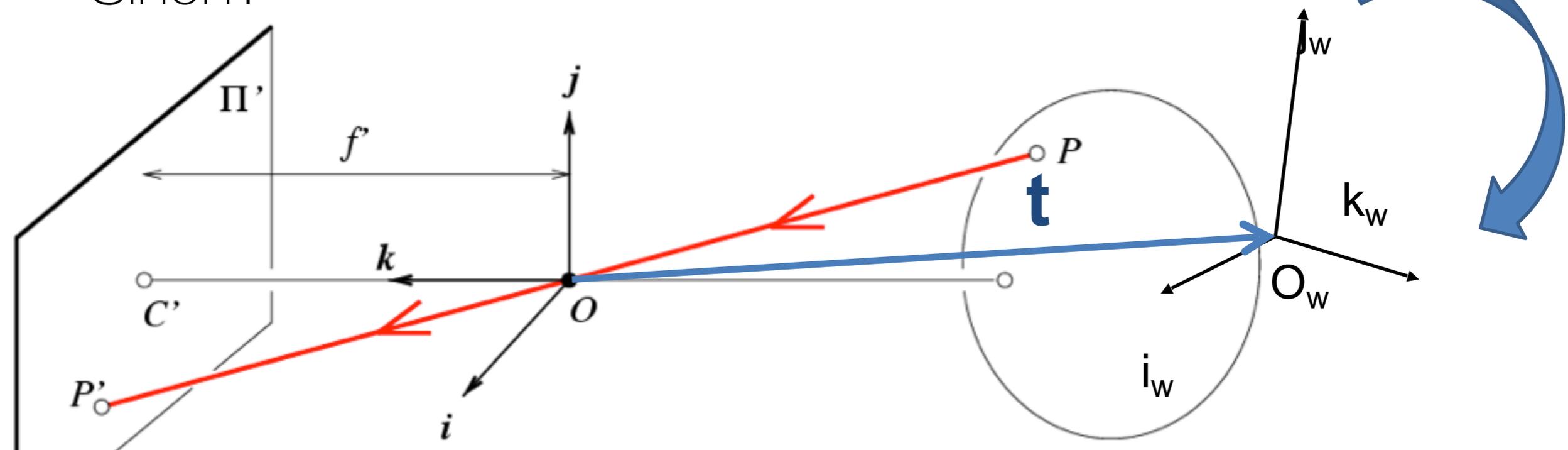
- Les axes sont perpendiculaires
- Sinon?

$$\begin{bmatrix} wx' \\ wy' \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & s & 0 & u_0 \\ 0 & \beta & 0 & v_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

# Hypothèse #4

- On connaît la position et l'orientation de la caméra
- Sinon?

**R**



$$\begin{bmatrix} wx' \\ wy' \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & s & 0 & u_0 \\ 0 & \beta & 0 & v_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

# Matrice de projection

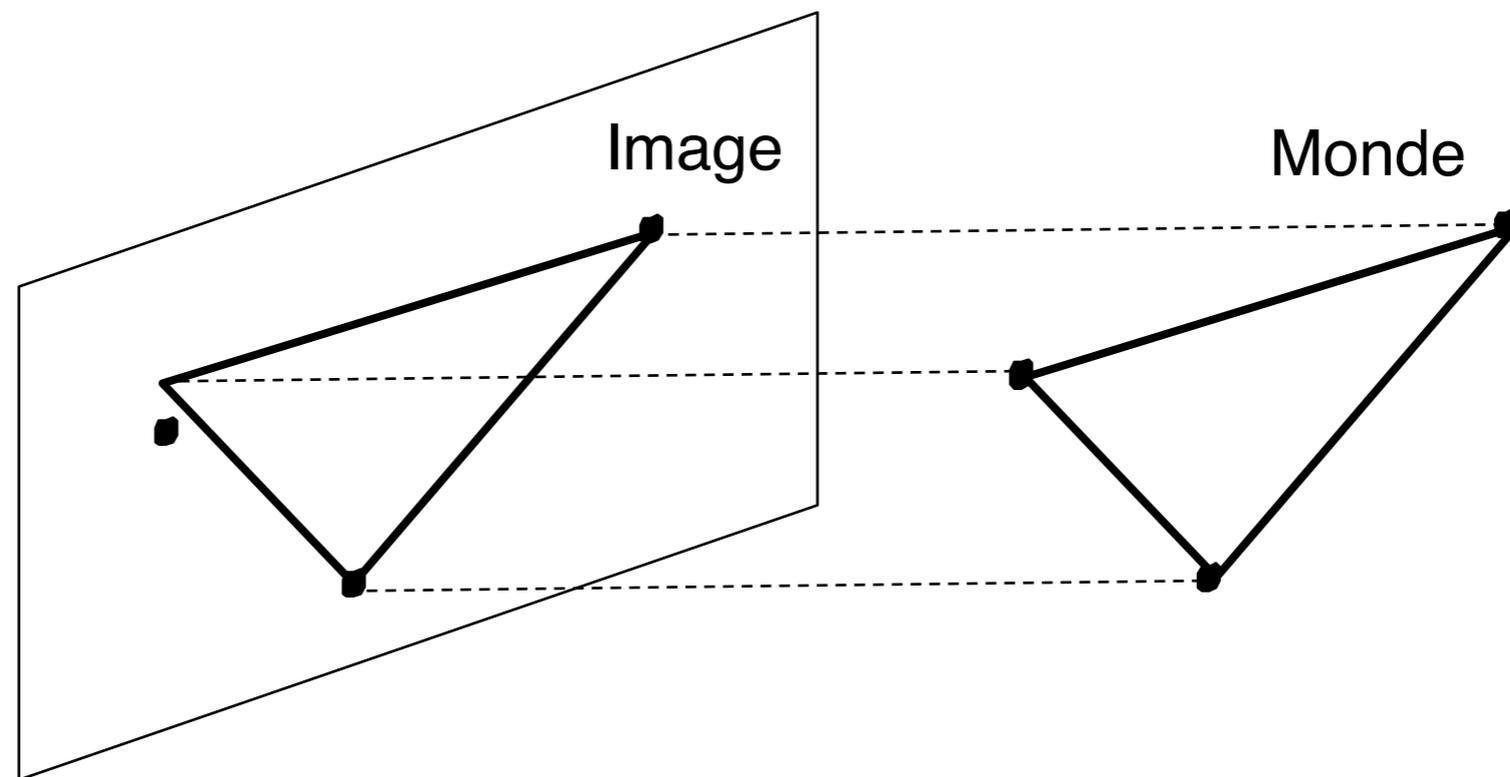
$$\begin{bmatrix} wx' \\ wy' \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & s & 0 & u_0 \\ 0 & \beta & 0 & v_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{23} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Intrinsèques

Extrinsèques

# Projection orthographique

- Cas spécial de la projection
- La distance focale est infinie



- Quelle est la matrice de projection?

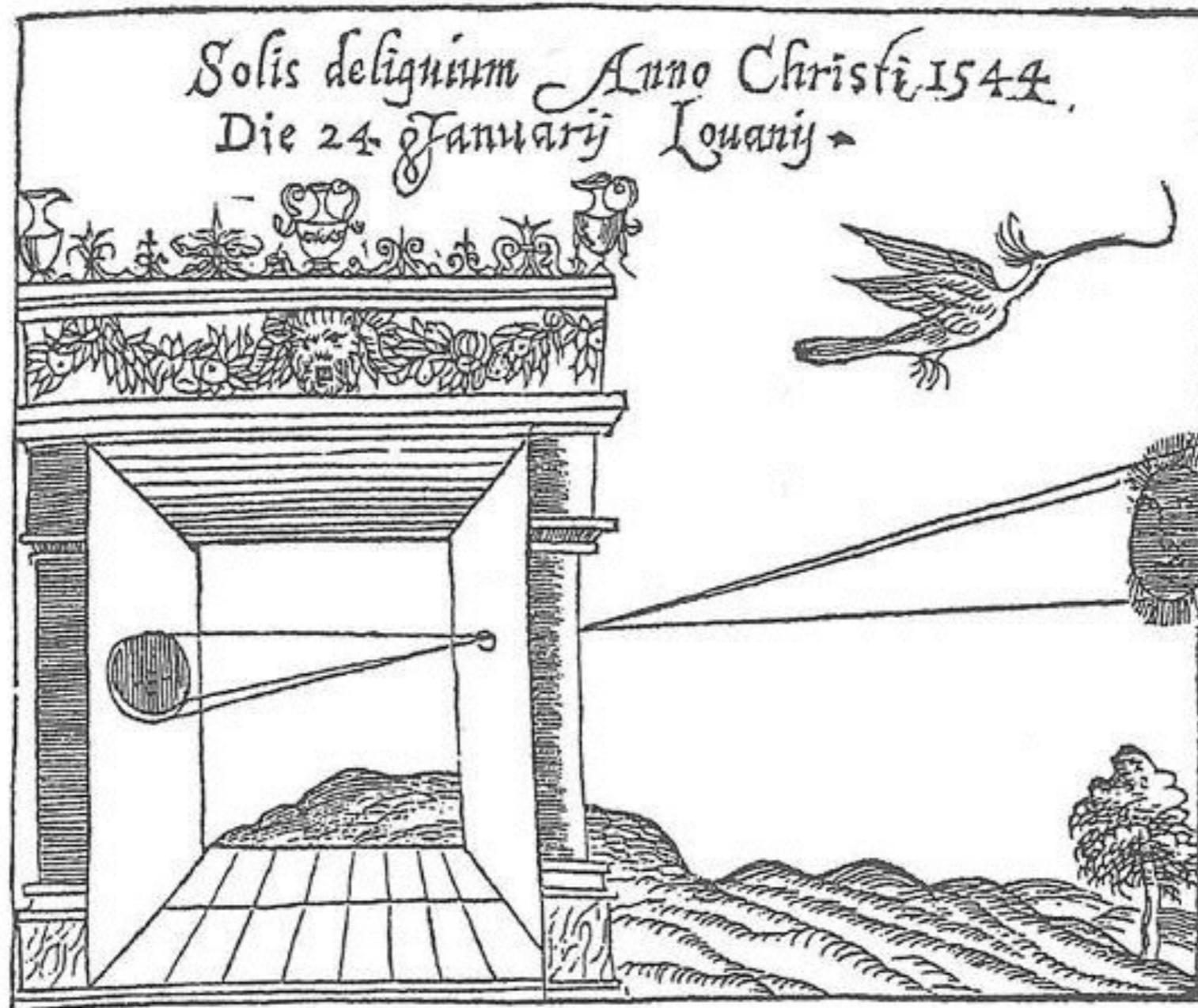
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix}$$

# Construisons une vraie caméra



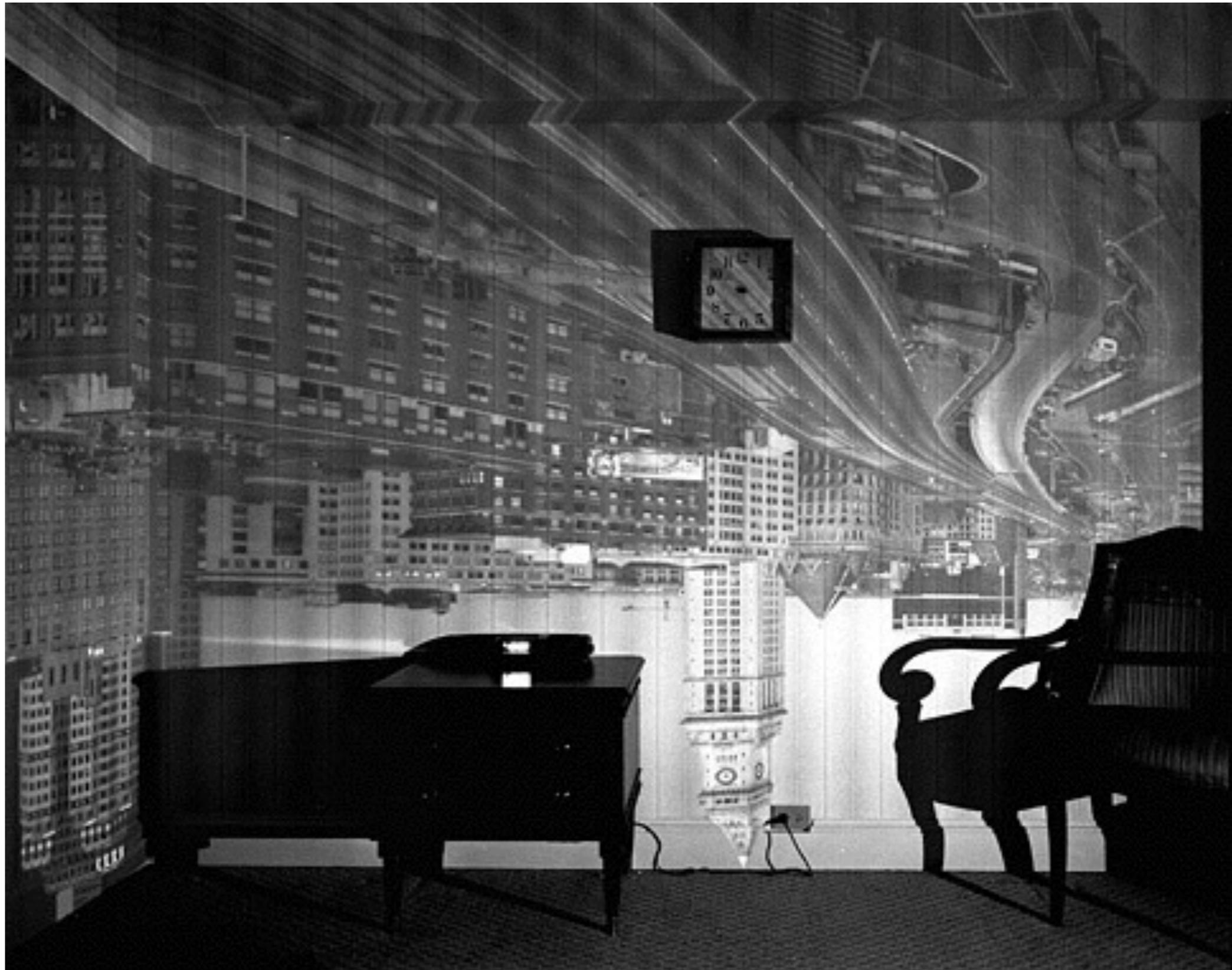
# Camera Obscura

- La toute première caméra
  - Aristote!
  - La profondeur de la salle est la distance focale



Camera Obscura  
Gemma Frisius  
1558

# Abelardo Morell

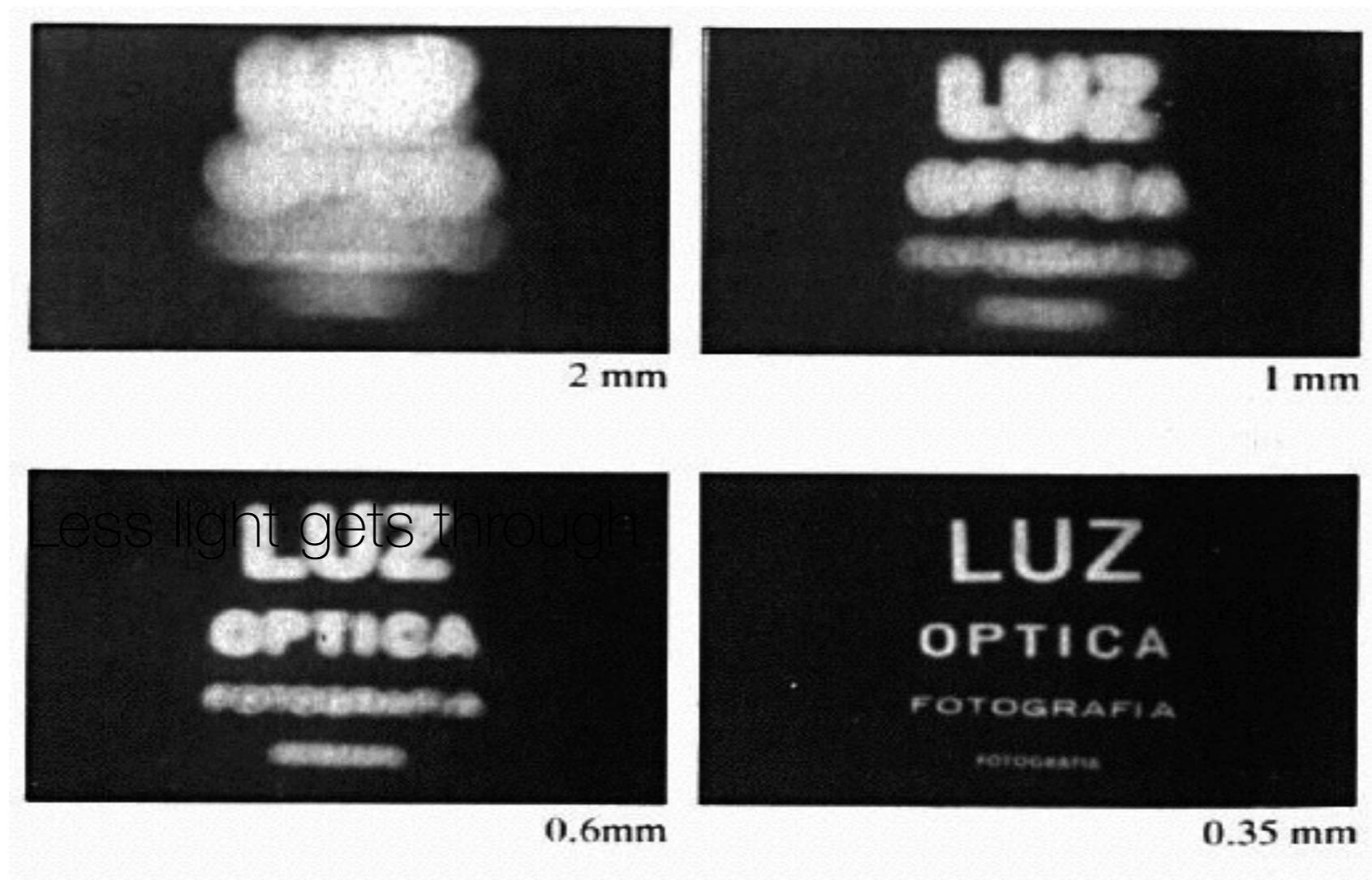


# Une façon plus “moderne” de créer un sténopé



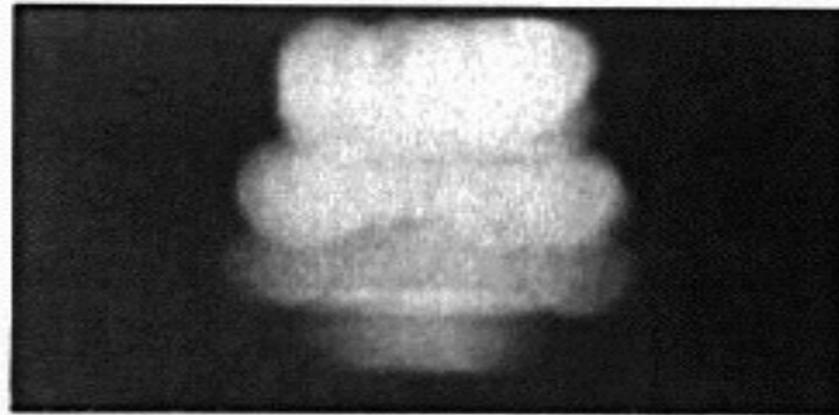
Pourquoi si flou?

# Réduisons l'ouverture



- Trop de flou? Réduisons l'ouverture le plus possible!

# Réduisons l'ouverture



2 mm



1 mm



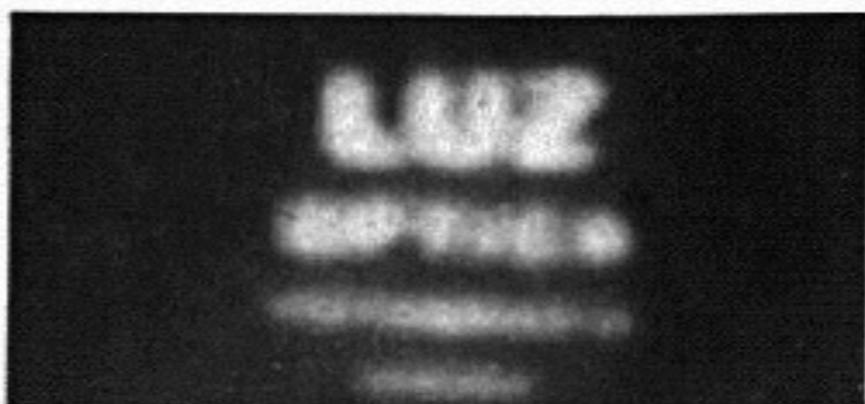
0.6mm



0.35 mm



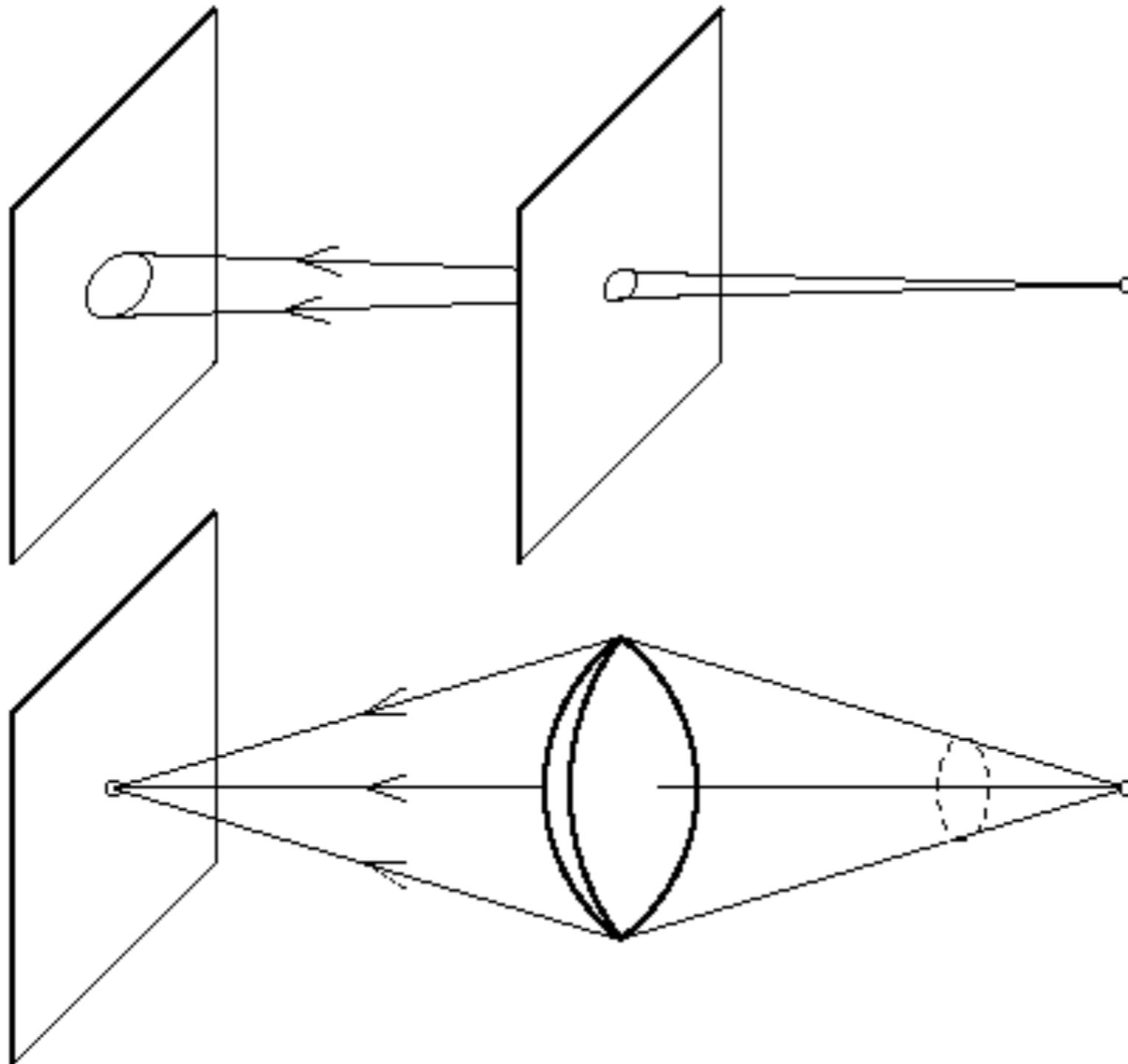
0.15 mm



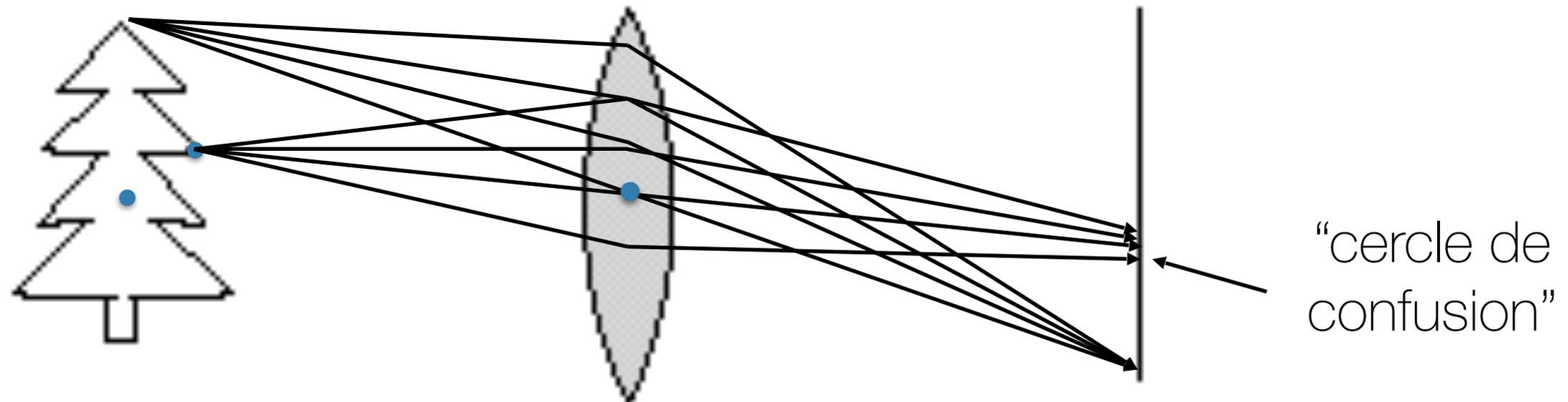
0.07 mm

# Solution?

Lentilles!

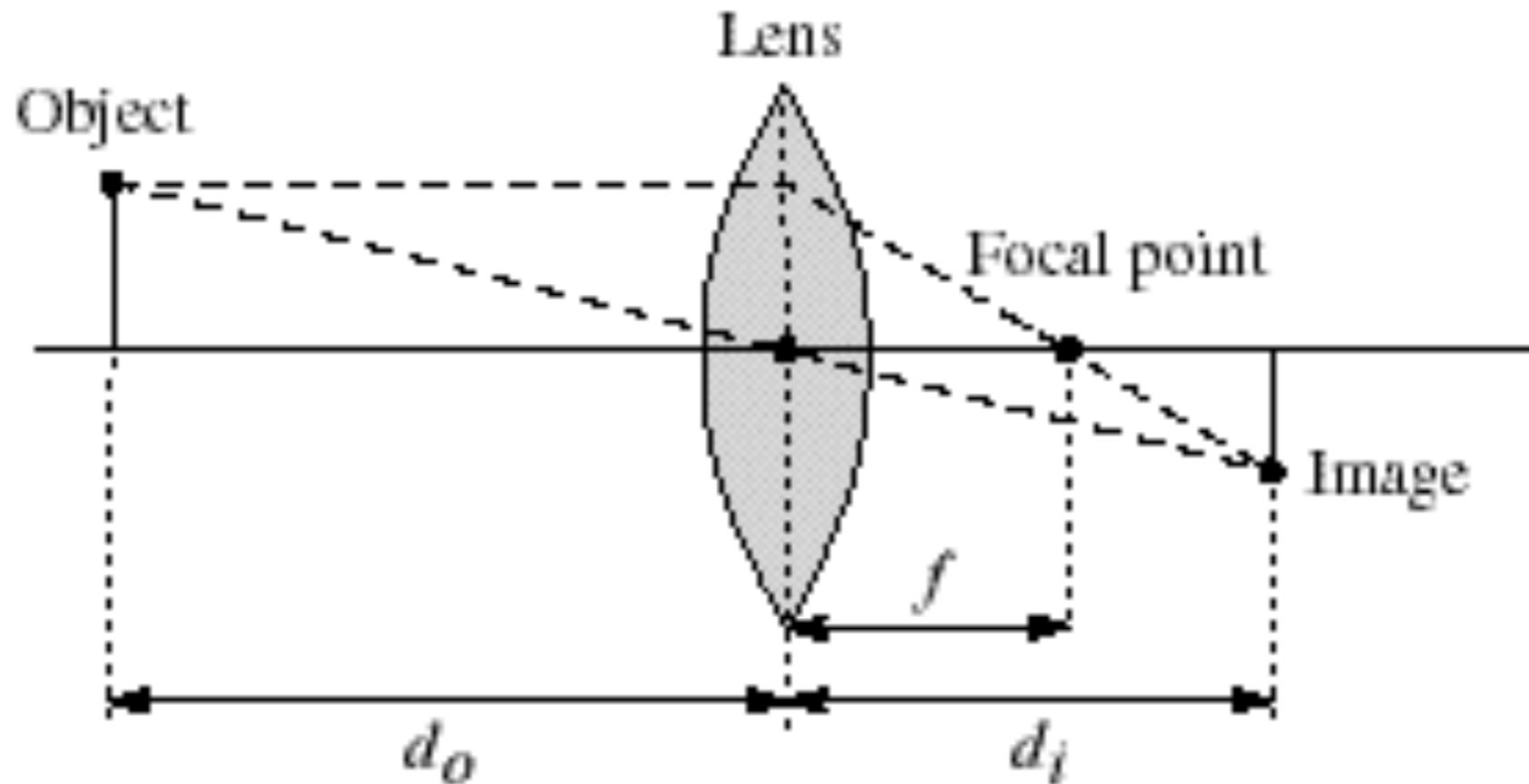


# Focus et Défocus



- Une lentille focalise la lumière sur le film
- Il existe une distance spécifique où les objets seront focalisés sur l'image
  - les autres points créent un "cercle de confusion" sur l'image
- Modifier la forme de la lentille modifie aussi cette distance

# Lentilles minces



- Équation des lentilles minces

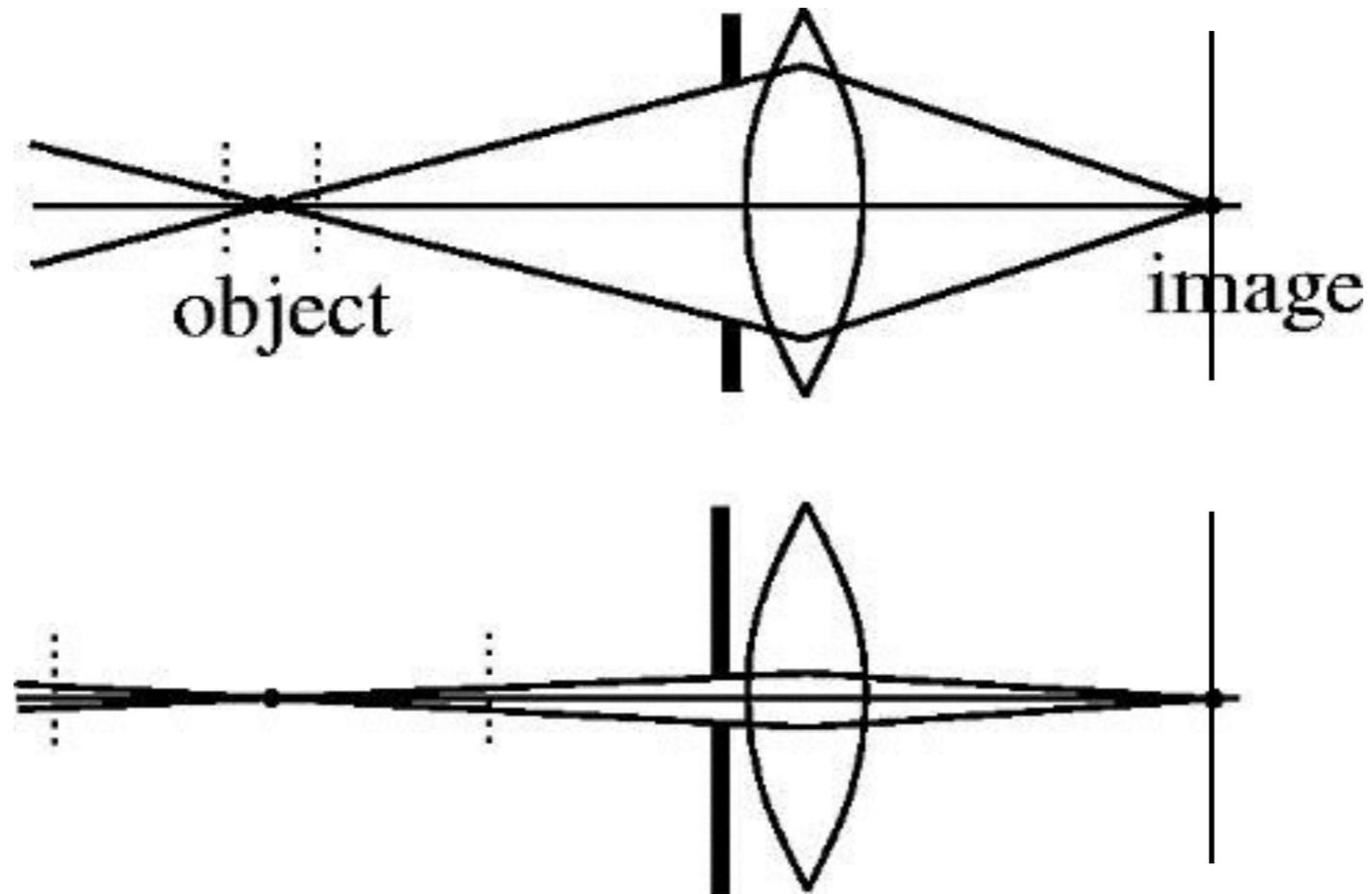
$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f}$$

- Tout point satisfaisant cette équation est focalisé
- Comment modifier la région en focus?

# Profondeur de champ



# L'ouverture contrôle la profondeur de champ



- Une ouverture plus petite
  - agrandit la profondeur de champ...
  - ... mais réduit la quantité de lumière

# Ouverture



Ouverture large = faible PdC

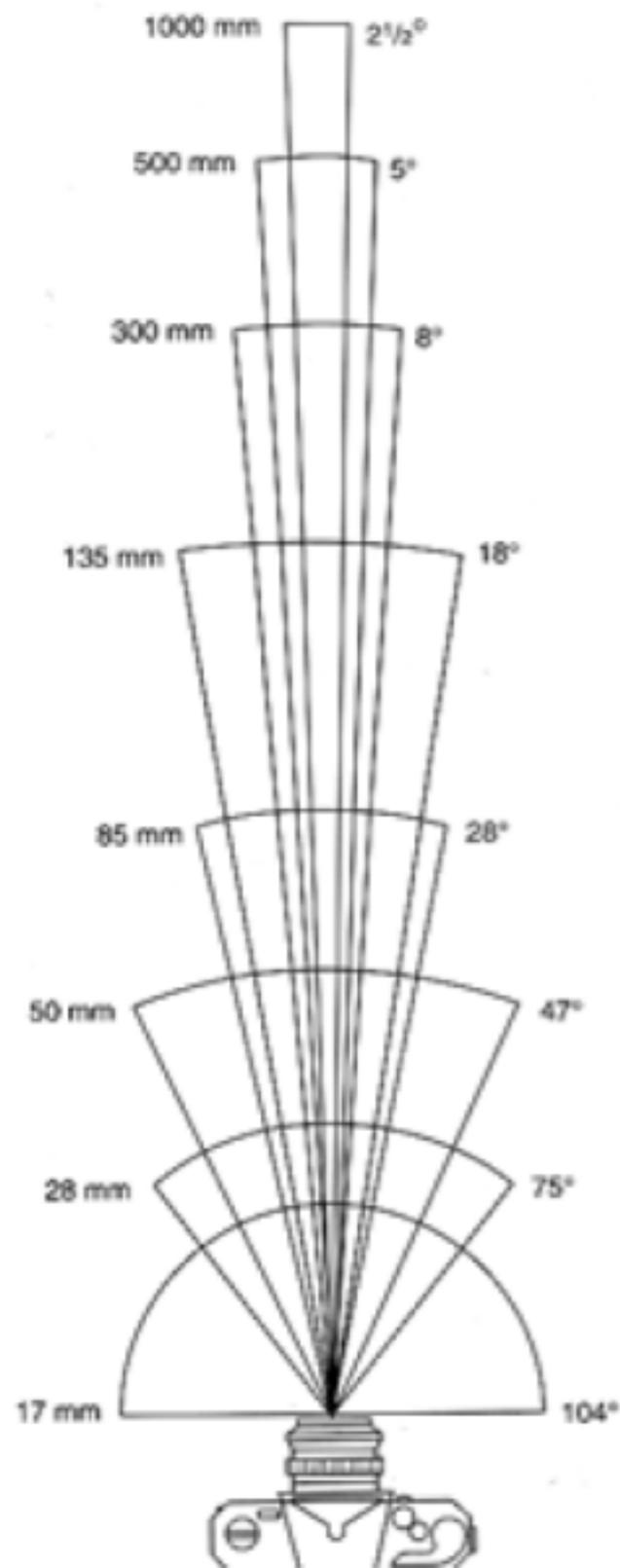


Ouverture petite = large PdC

Effet photographique!



# Champ de vue (zoom)



17mm



28mm



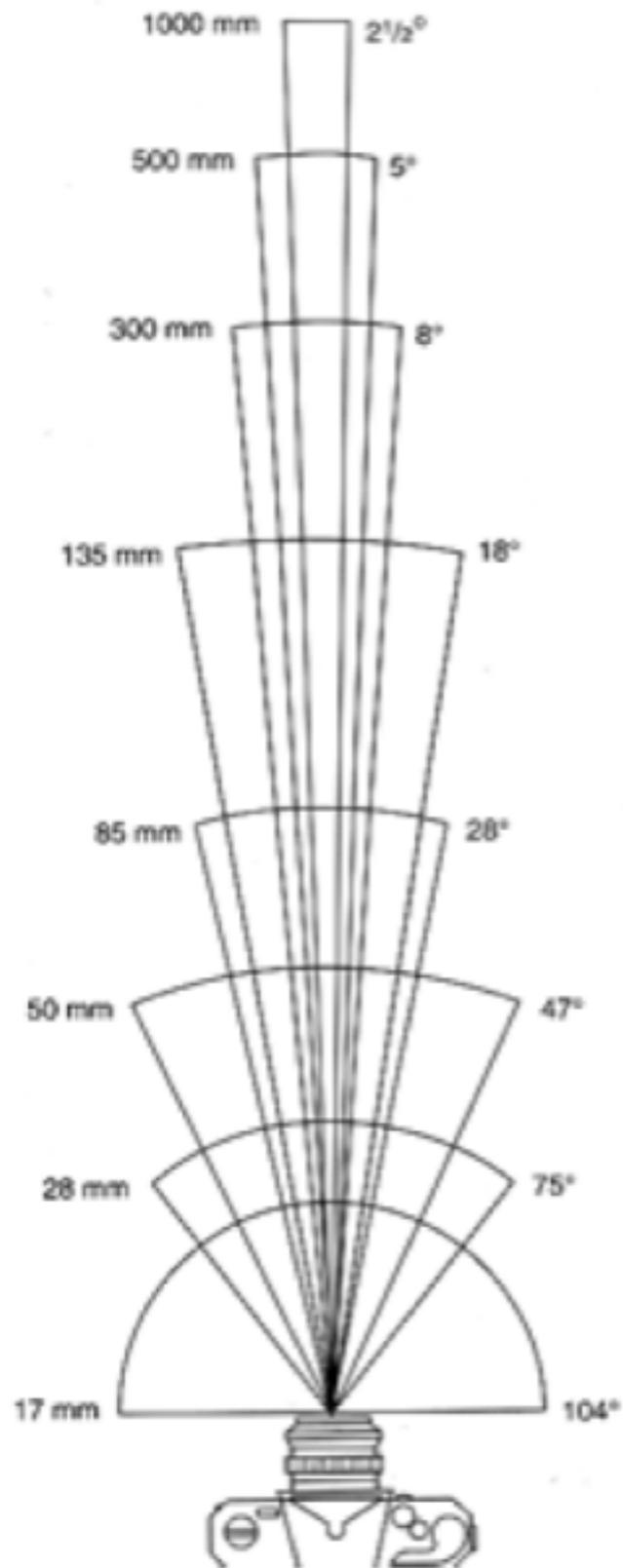
50mm



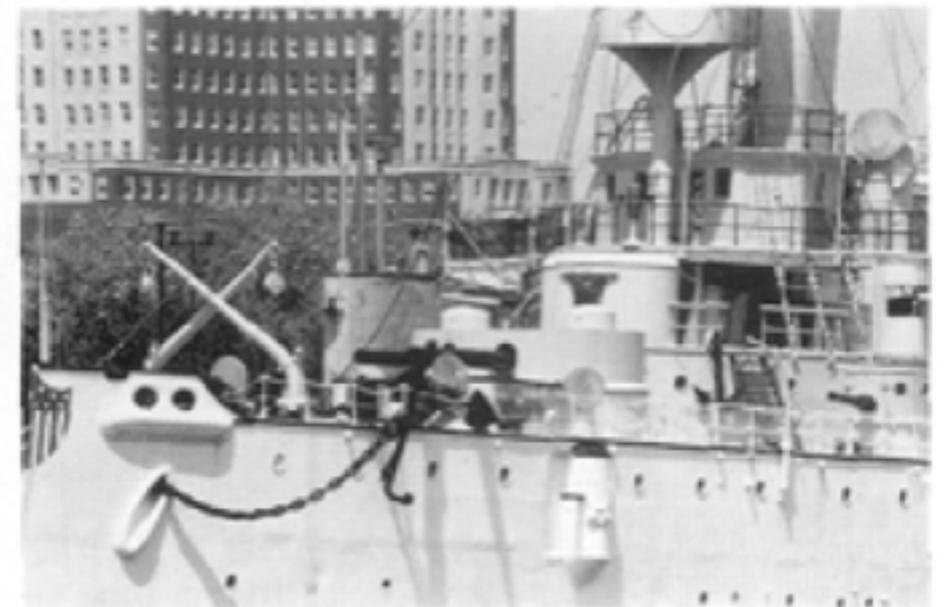
85mm

**From London and Upton**

# Champ de vue (zoom) = rognure



135mm



300mm



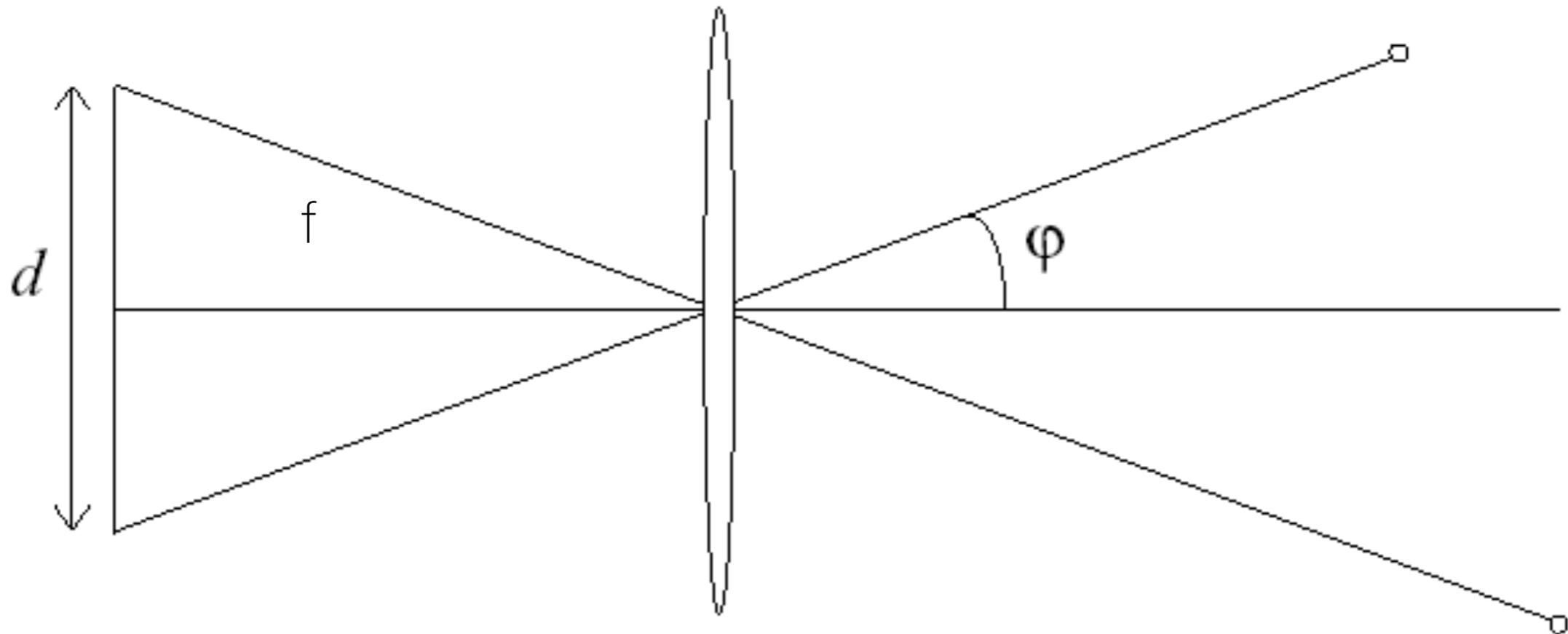
500mm



1000mm

**From London and Upton**

# Relation avec la distance focale



Size of field of view governed by size of the camera retina:

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{d}{2f}\right)$$

Petit champ de vue = grande distance focale

# Champ de vue & distance focale



CdV élevé, f petite  
Caméra près de la voiture



CdV petit, f élevée  
Caméra loin de la voiture

# Effet "vertigo"

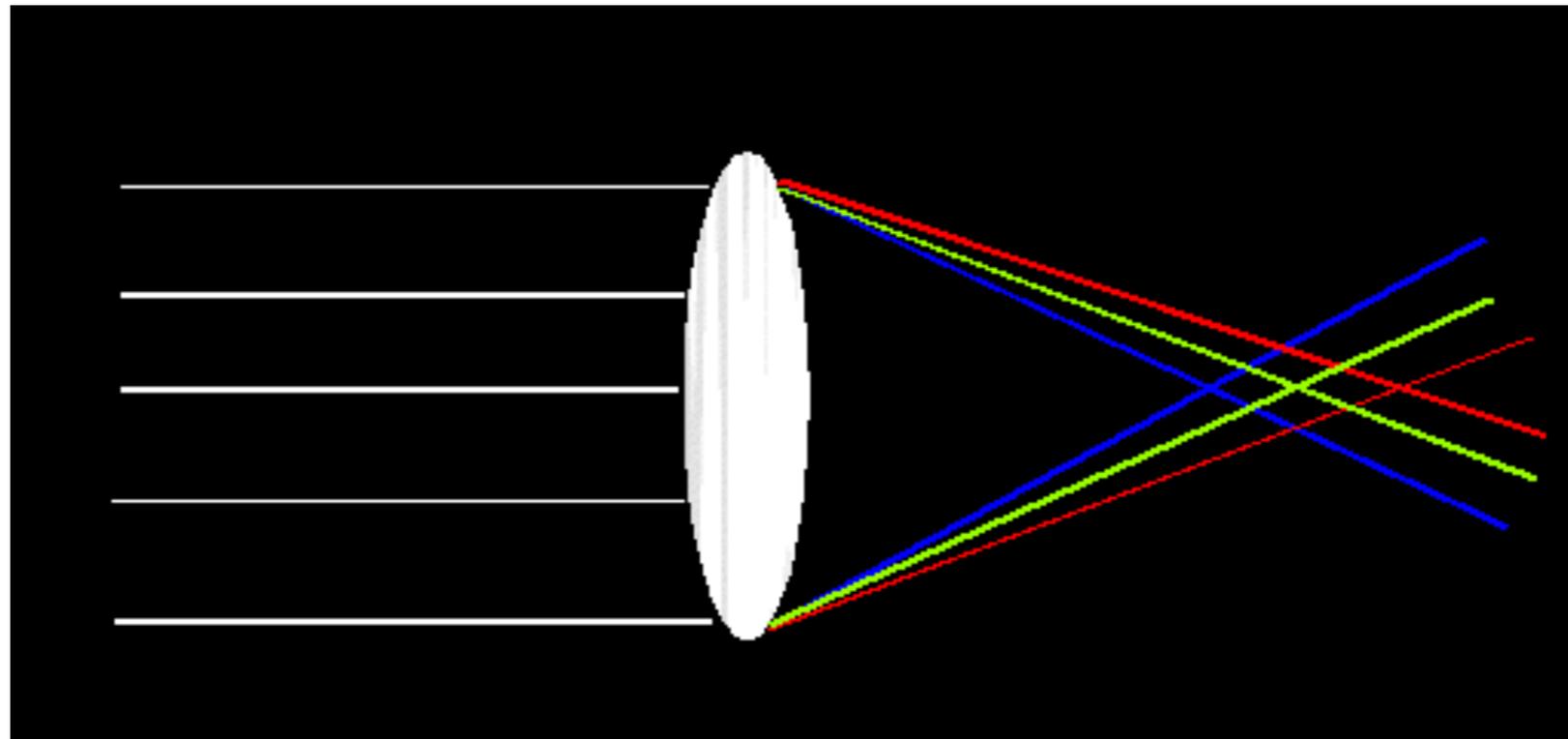


<http://www.youtube.com/watch?v=je0NhvAQ6fM>

<http://www.youtube.com/watch?v=MWRncNMEhLw>

# Aberration chromatique

- L'index de réfraction dépend de la longueur d'onde
  - c'est ce qui explique pourquoi un prisme révèle les couleurs de l'arc-en-ciel!



- Crée des distortions de couleurs près des bordures de l'image

# Aberration chromatique

Près du centre de l'image



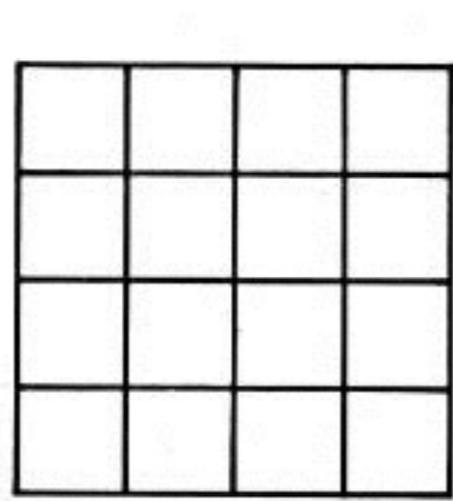
En bordure de l'image



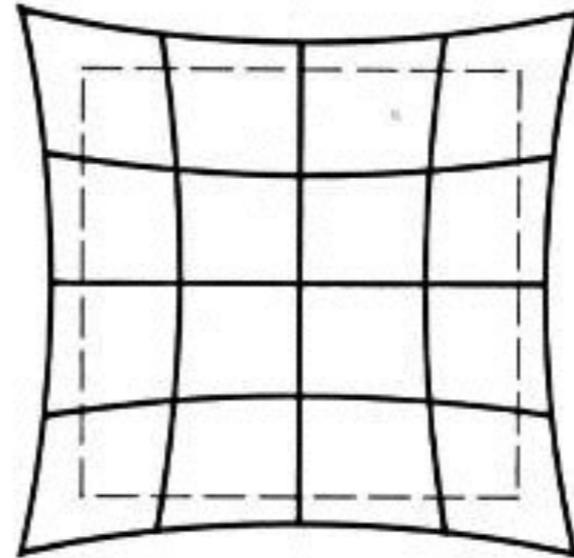
# Distorsion radiale



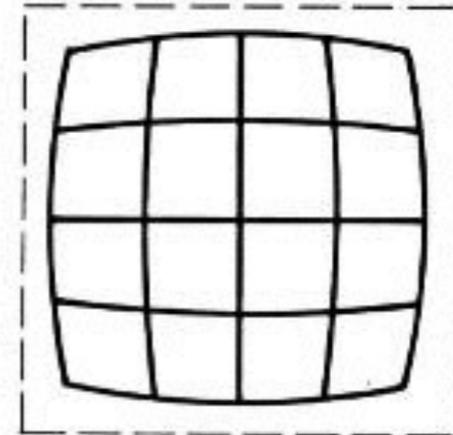
# Distorsion radiale



Pas de distorsion



“Pin cushion”



“Barrel”

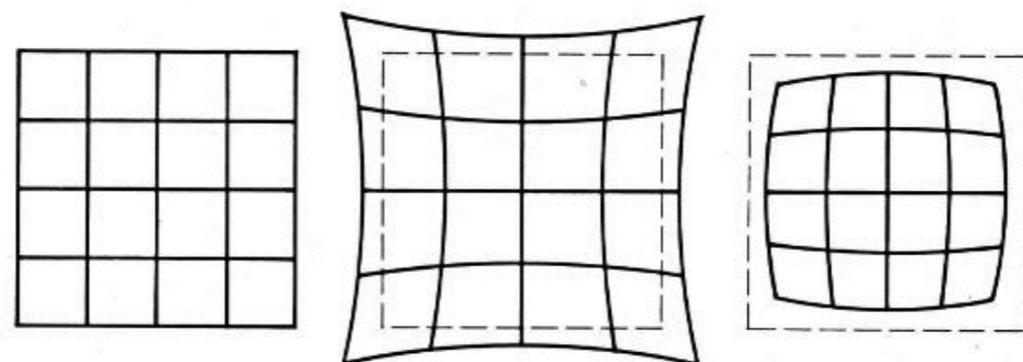
- Causée par lentilles imparfaites
- Encore une fois, plus important en bordure de l'image

# Estimer les paramètres de la caméra?

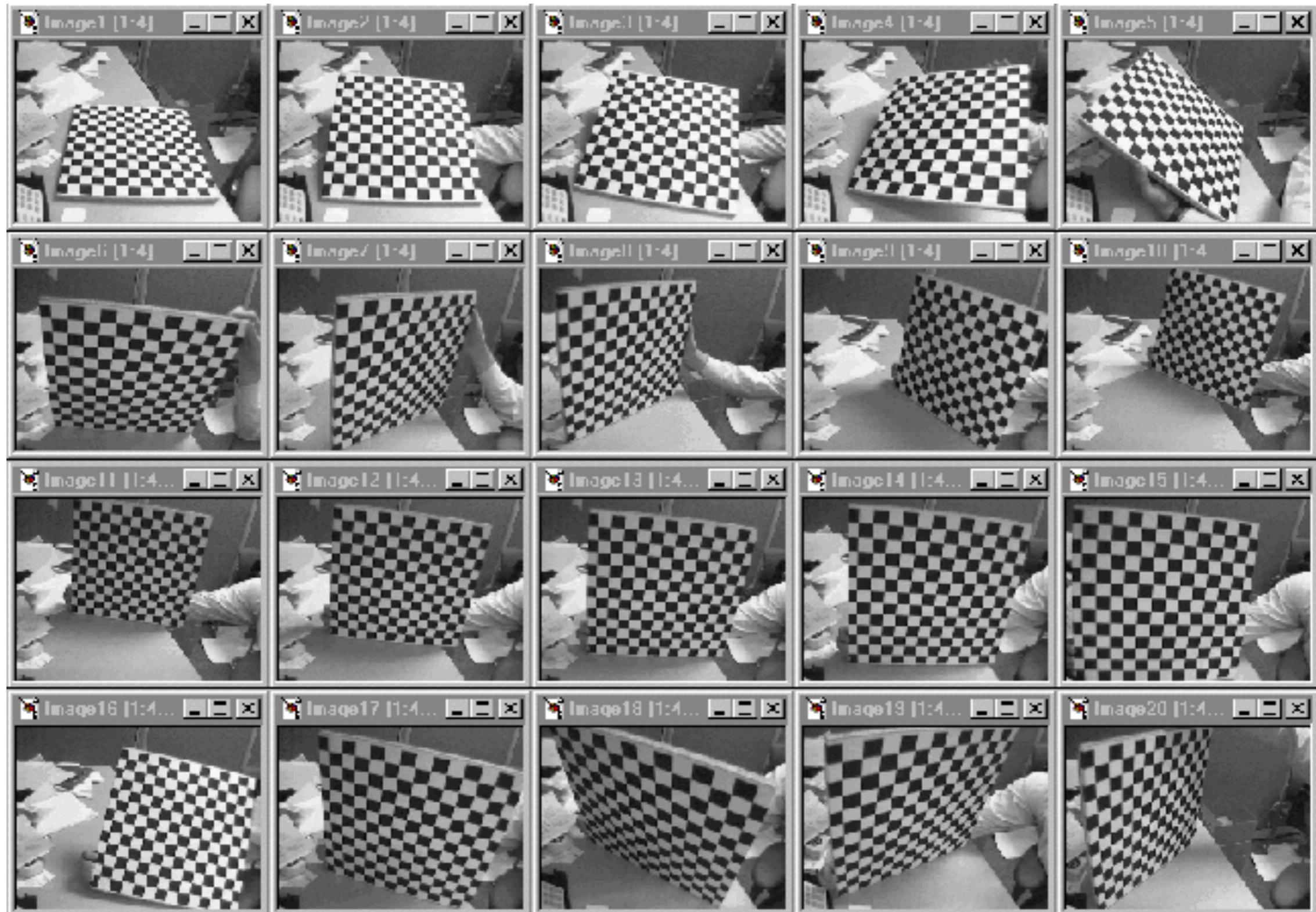
- Intrinsèques + extrinsèques

$$\begin{bmatrix} wx' \\ wy' \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & s & 0 & u_0 \\ 0 & \beta & 0 & v_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{23} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

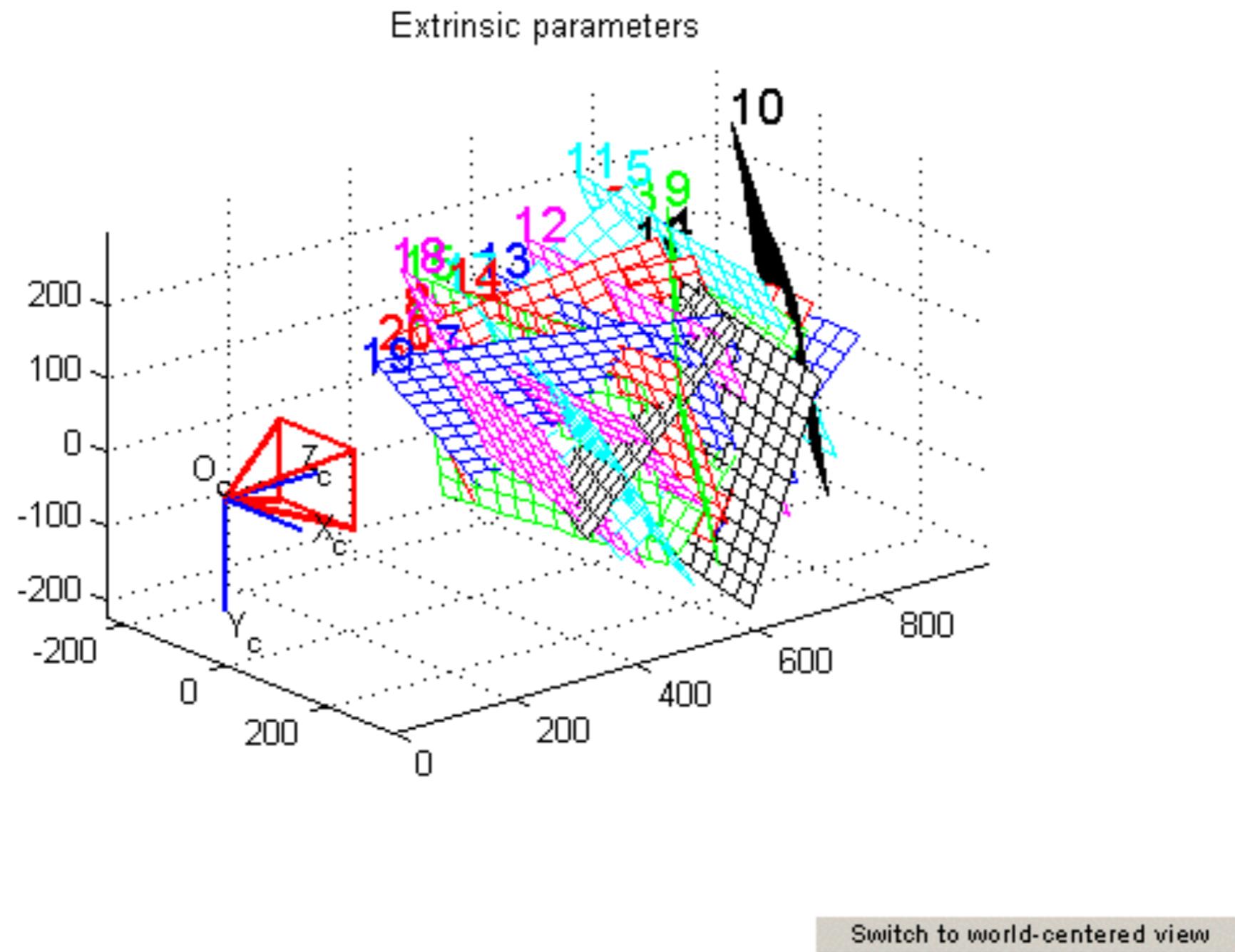
- Distorsion



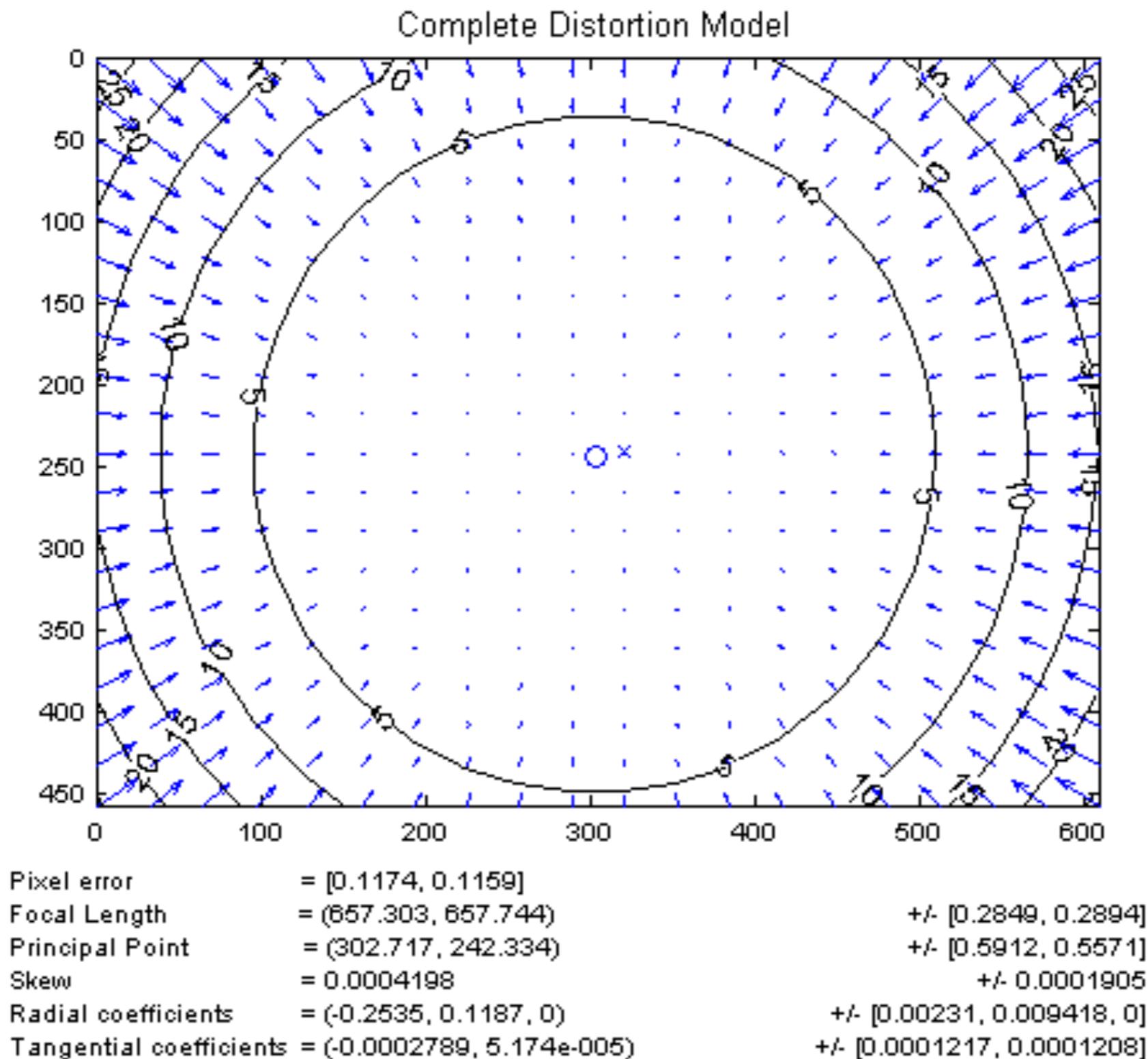
# Estimer les paramètres de la caméra



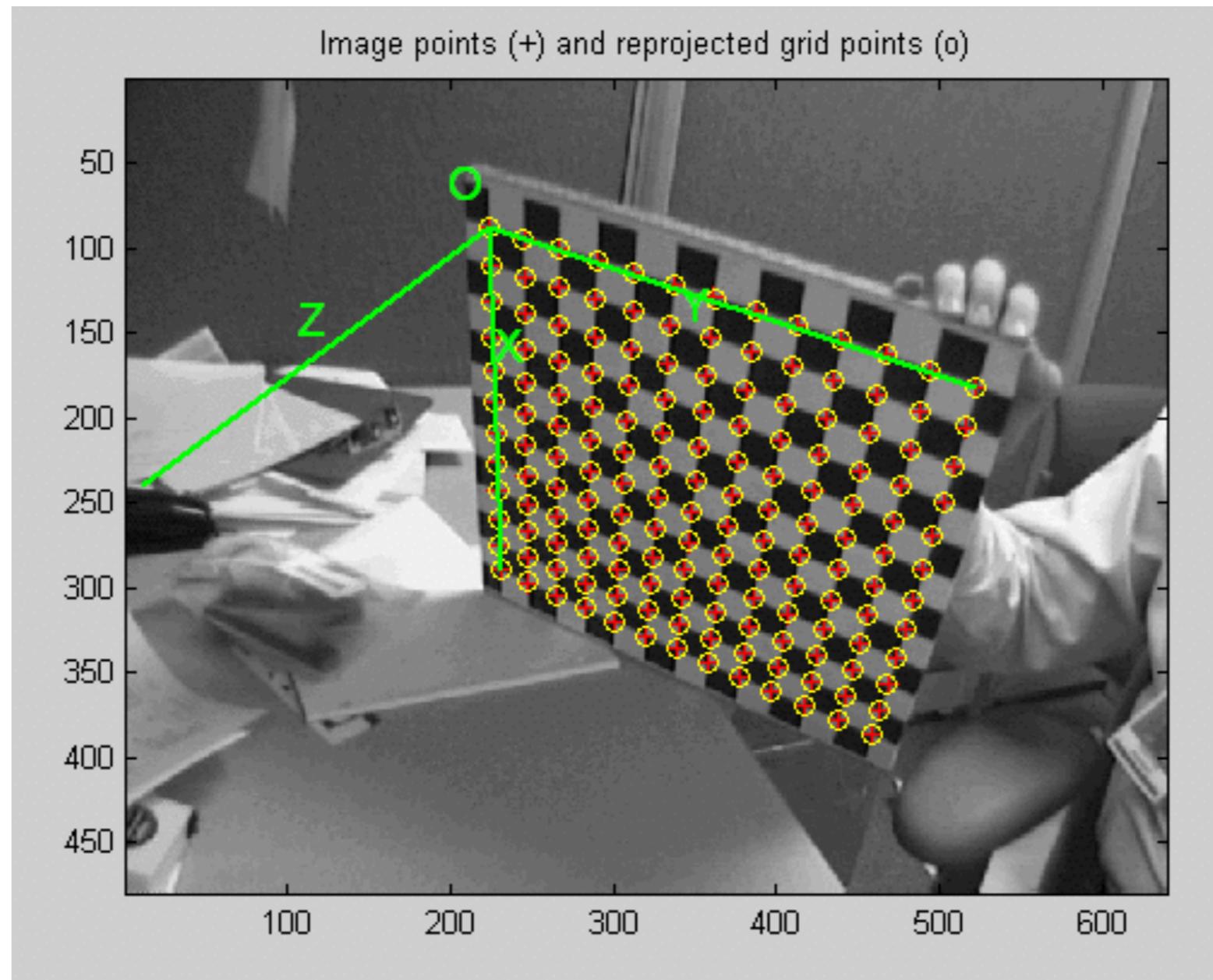
# Estimer les paramètres de la caméra



# Estimer les paramètres de la caméra



# Estimer les paramètres de la caméra



[http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc/](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/)

# Planification

- Mercredi: mosaïques
  - comment exploiter les modèles de caméra pour fusionner plusieurs images ensemble

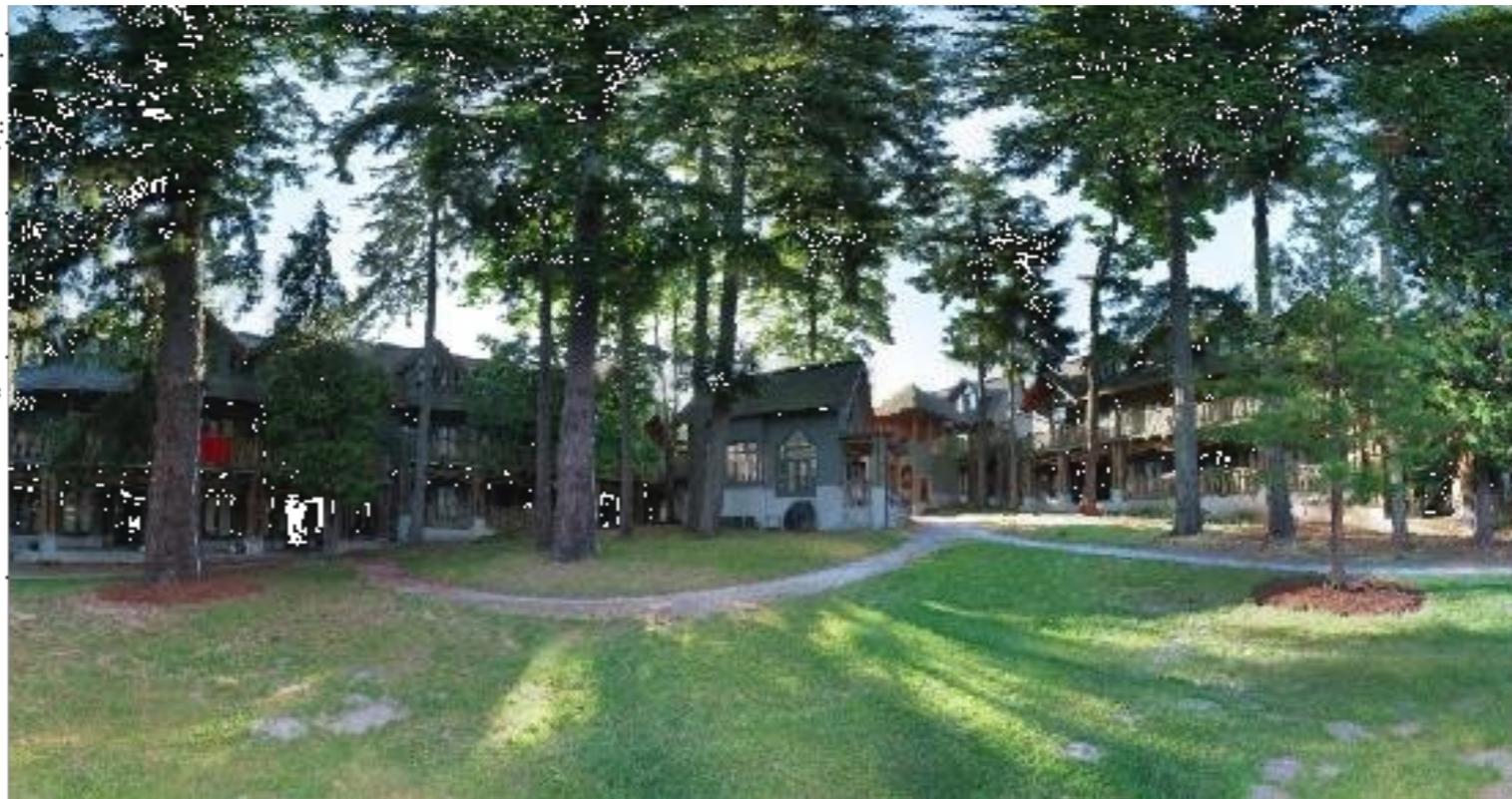
# Pourquoi les mosaïques?

- Qu'est-ce qu'on voit?
  - CdV d'une caméra standard =  $50 \times 35^\circ$



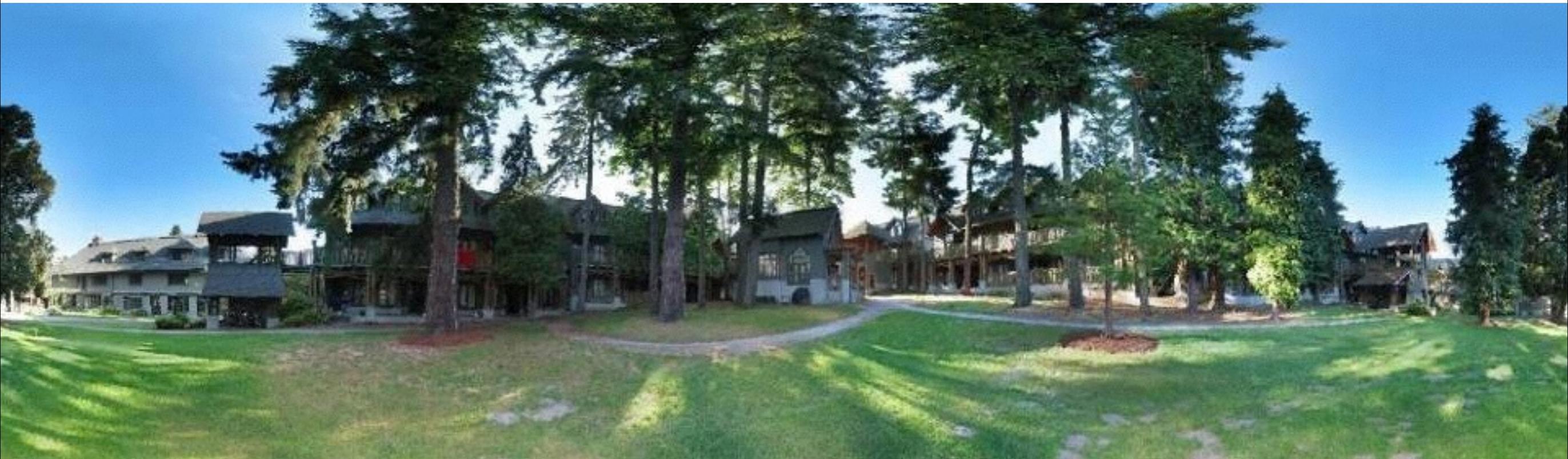
# Pourquoi les mosaïques?

- Qu'est-ce qu'on voit?
  - CdV standard =  $50 \times 35^\circ$
  - CdV d'un humain =  $200 \times 135^\circ$

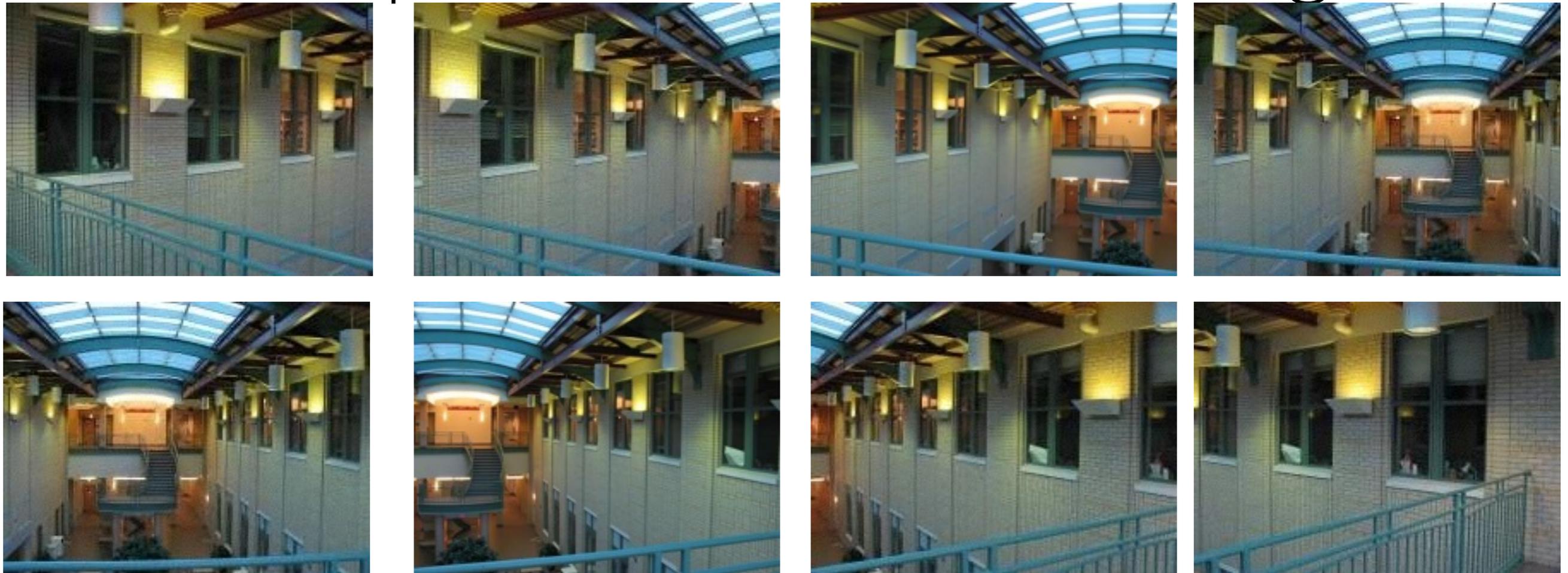


# Pourquoi les mosaïques?

- Qu'est-ce qu'on voit?
  - CdV standard =  $50 \times 35^\circ$
  - CdV d'un humain =  $200 \times 135^\circ$
  - CdV total =  $360 \times 180^\circ$



# Mosaïque: fusionner les images



caméra virtuelle à large champ de vue