



Vision par ordinateur

Vision 3D *(deuxième partie)*

Alain Boucher – IFI



Mise en correspondance (appariement)

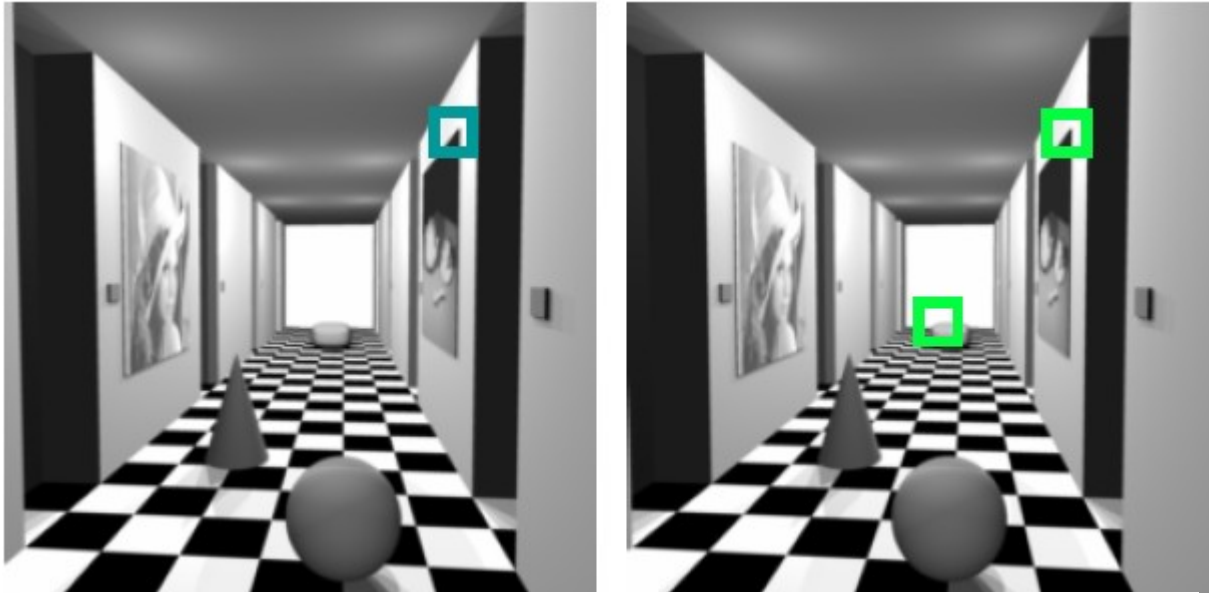
Approche basée sur la corrélation



Approche basée sur la corrélation

- **Il faut**
 - des régions texturées
 - des points de vue assez semblables
- **Fonctionnement :**
 - On sélectionne une fenêtre définissant un voisinage dans l'image gauche
 - On cherche la fenêtre de voisinage correspondante
 - **Si** on connaît la géométrie épipolaire
alors recherche sur la droite épipolaire dans l'image de droite
sinon recherche dans toute l'image de droite
 - On peut concentrer d'abord la recherche dans les environs du point observé

Correspondance par corrélation



$$\sum (\text{cyan box} - \text{green box})^2 = \text{ssd}$$

$$\sum (\text{cyan box} - \text{green box})^2 = \text{ssd}$$



Approche basée sur la corrélation

Il existe plusieurs fonctions de corrélation de voisinage :

$$SSD = \sum_i \sum_j \left(I(ax+i, ay+j) - I'(bx+i, by+j) \right)^2$$

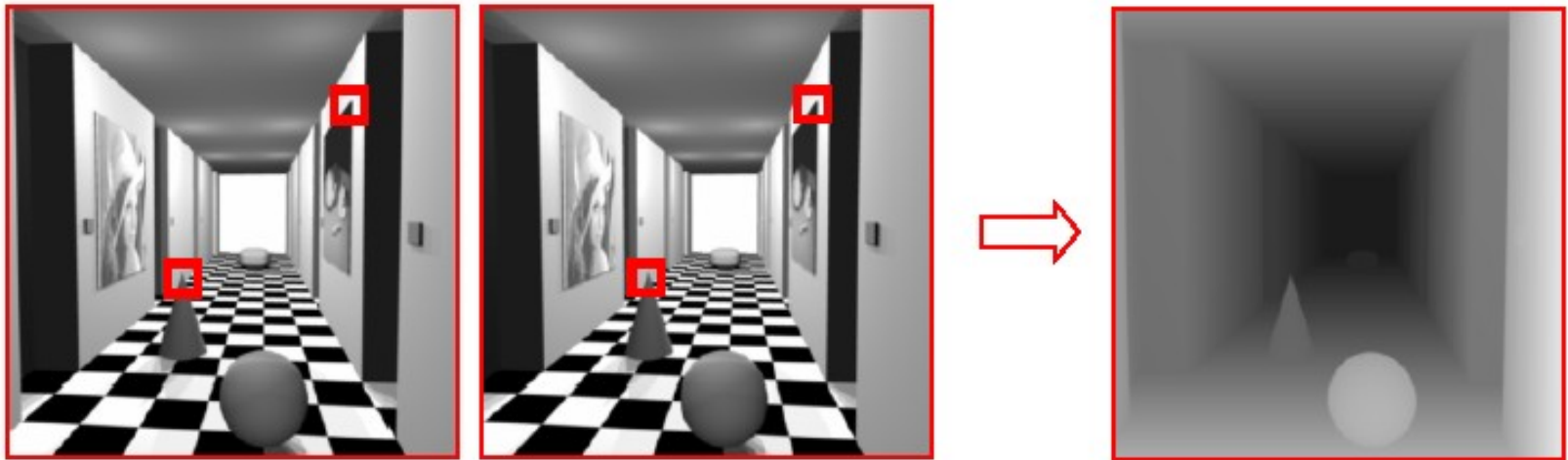
$$ZSSD = - \sum_i \sum_j \left((I(ax+i, ay+j) - \overline{I(ax, ay)}) - (I'(bx+i, by+j) - \overline{I'(bx, by)}) \right)^2$$

$$ZNCC = \frac{\sum_i \sum_j ((I(ax+i, ay+j) - \overline{I(ax, ay)})(I'(bx+i, by+j) - \overline{I'(bx, by)}))}{\sqrt{\sum_i \sum_j (I(ax+i, ay+j) - \overline{I(ax, ay)})^2} \sqrt{\sum_i \sum_j (I'(bx+i, by+j) - \overline{I'(bx, by)})^2}}$$

...

Calcul de carte de profondeurs

- Avec l'ensemble des correspondances, nous pouvons calculer une carte des profondeurs de la scène
- En fait, il s'agit d'une carte des disparités entre les correspondances [$\text{distance}(p_1, p_2)$]
 - Plus la distance de disparité est grande, plus l'objet est proche en 3D



Carte des profondeurs

Carte des disparités

image $I(x,y)$



Carte des disparités $D(x,y)$

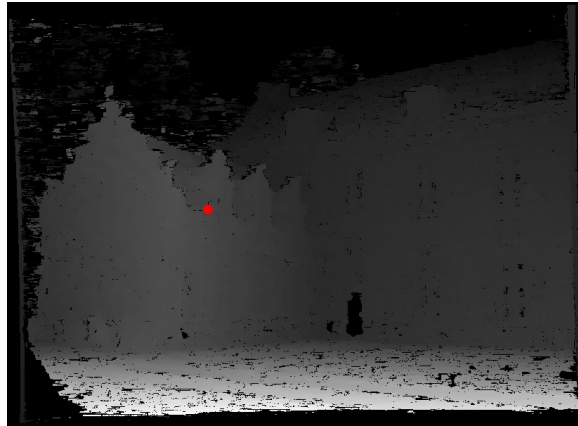
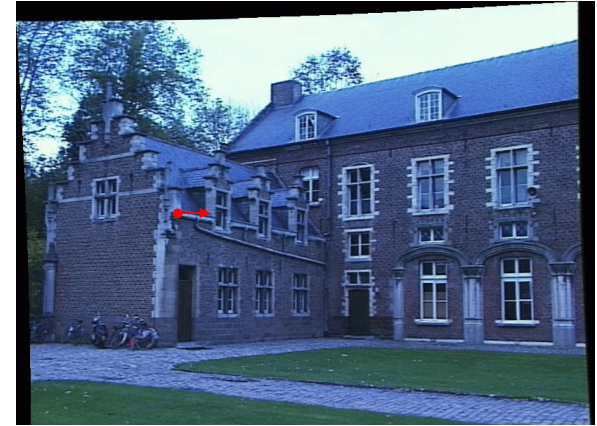
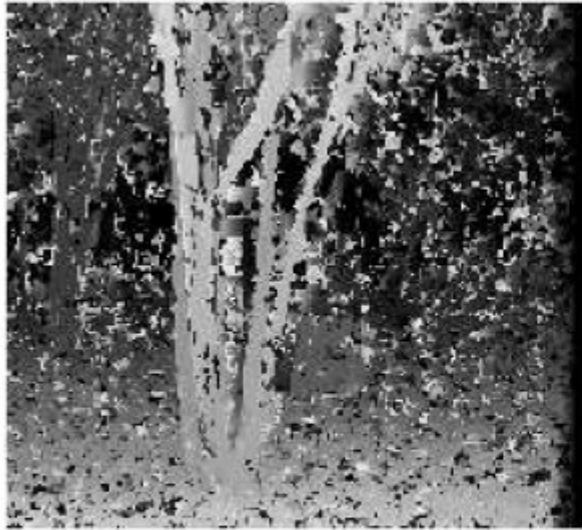


image $I'(x',y')$

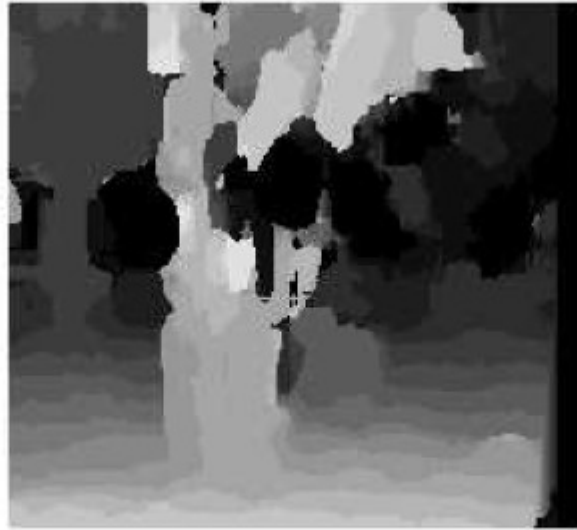


$$(x',y')=(x+D(x,y),y)$$

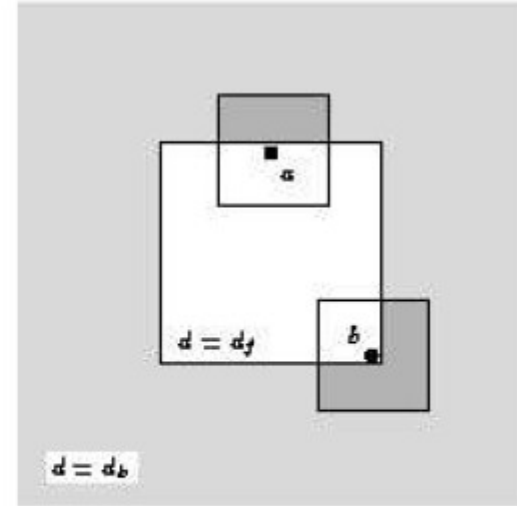
Taille de la fenêtre de corrélation



$w = 3$



$w = 20$



- La taille de la fenêtre de corrélation est importante
 - Petit voisinage ($w=3$) : plus de détails
 - Grand voisinage ($w=20$) : moins d'erreurs isolées (mais plus long)

Pourquoi normaliser la corrélation ?

- L'intensité et les couleurs peuvent varier d'une caméra à l'autre
- La corrélation normalisée permet de corriger ces variations



$$\frac{\sum (u - \bar{u})(v - \bar{v})}{\sqrt{\sum (u - \bar{u})^2} \sqrt{\sum (v - \bar{v})^2}}$$

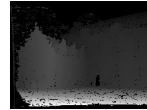


Corrélation hiérarchique

Plus rapide en calcul

Permet de tenir compte des grandes disparités

Réduction d'échelle
(pyramide Gaussienne)

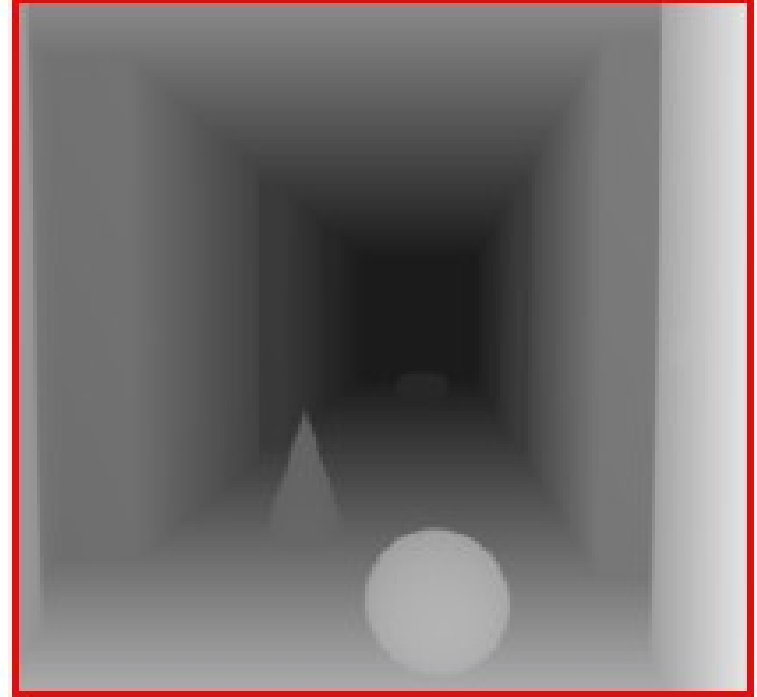


Propagation des disparités



(Falkenhagen '97; Van Meerbergen, Vergauwen, Pollefeys, VanGool IJCV'02)

Deux représentations 3D similaires



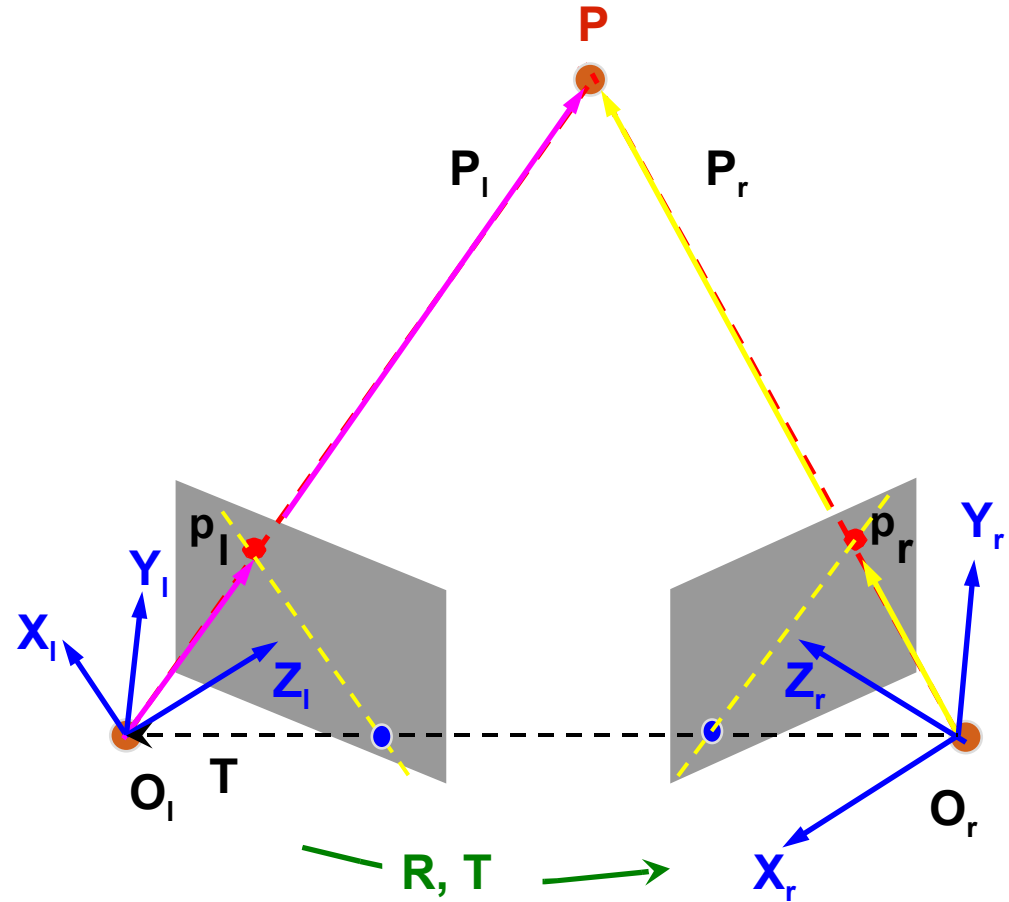
- Ces deux représentations sont similaires et montrent la 3D entre deux images
- Quelques différences entre les infos 3D disponibles



Rectification d'images

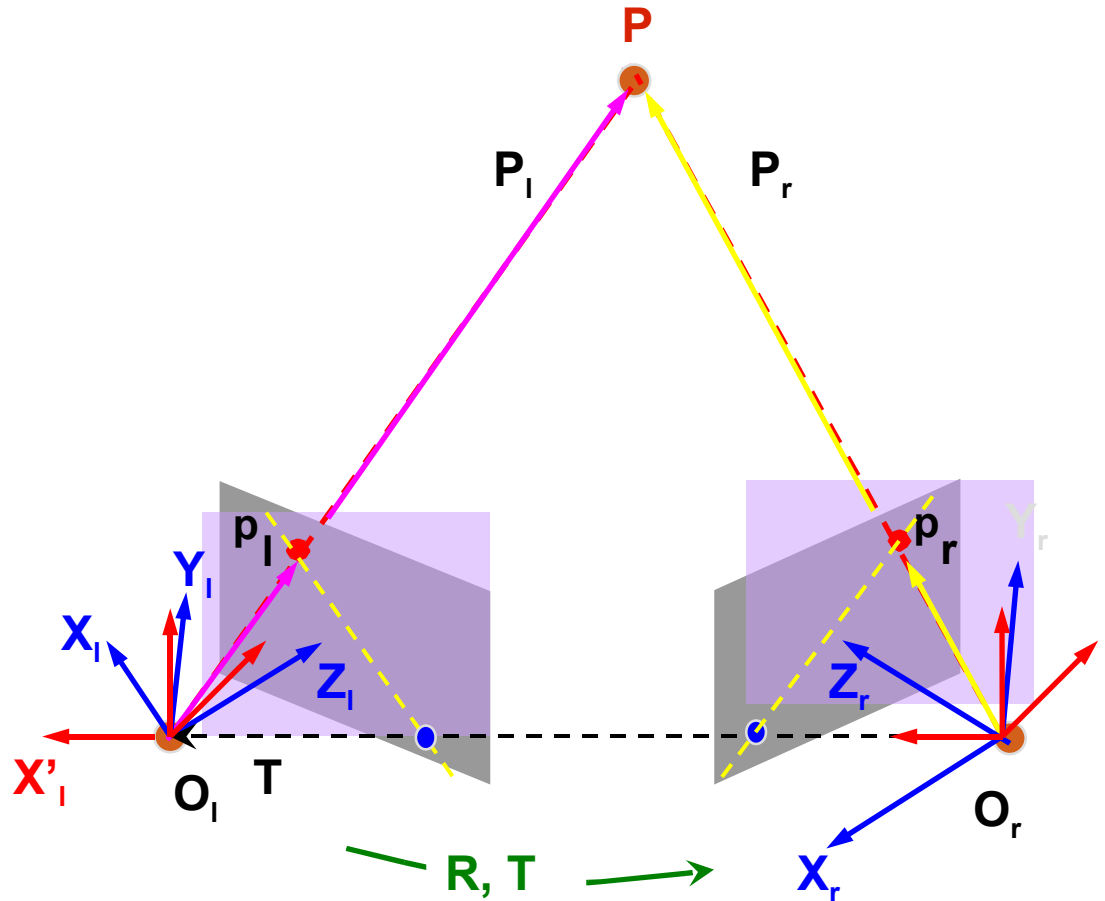
Rectification stéréo (1)

- Soit un système stéréo composée de deux caméras
- Définir une rotation pour chacun des caméras pour que les caméras soient coplanaires
- Définir une matrice de transformation pour chaque image



Rectification stéréo (2)

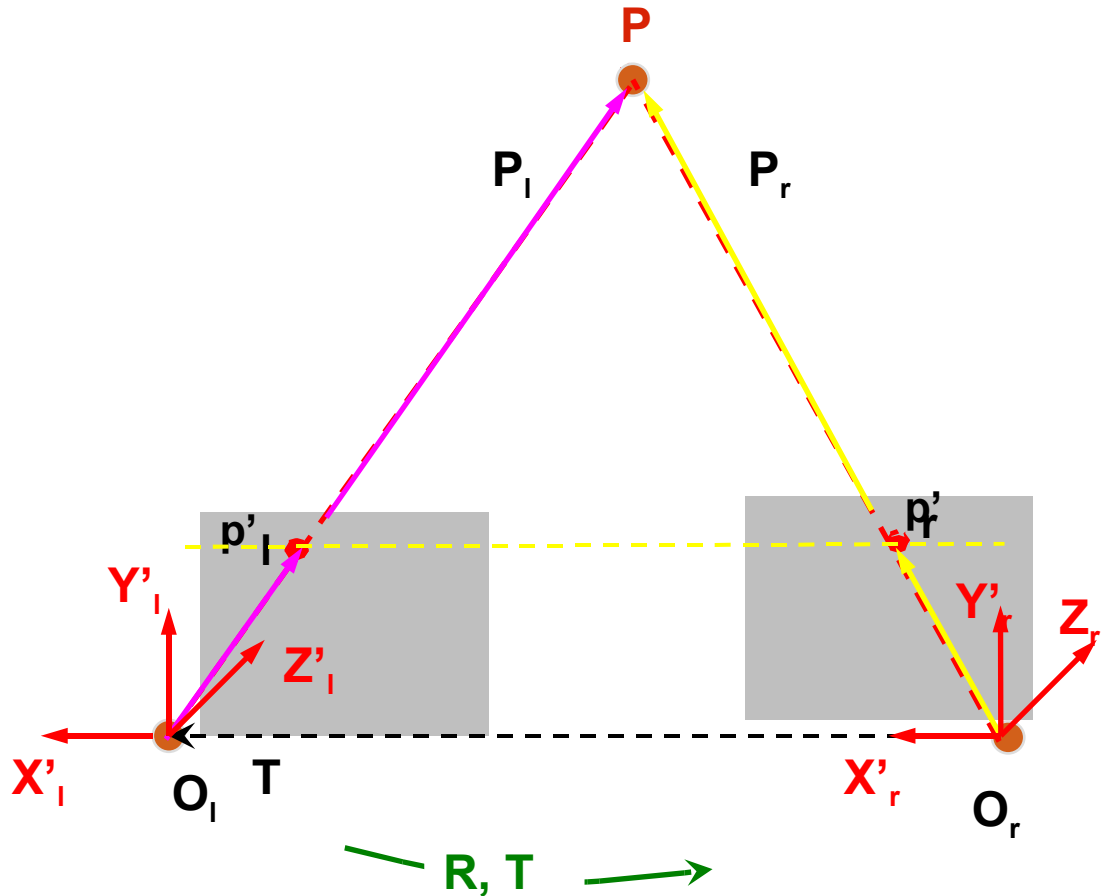
- Soit un système stéréo composée de deux caméras
- Définir une rotation pour chacun des caméras pour que les caméras soient coplanaires
- Définir une matrice de transformation pour chaque image



$$X'_l = T, \quad Y'_l = X'_l \times Z_l, \quad Z'_l = X'_l \times Y'_l$$

Rectification stéréo (3)

- Soit un système stéréo composée de deux caméras
- Définir une rotation pour chacun des caméras pour que les caméras soient coplanaires
- Définir une matrice de transformation pour chaque image

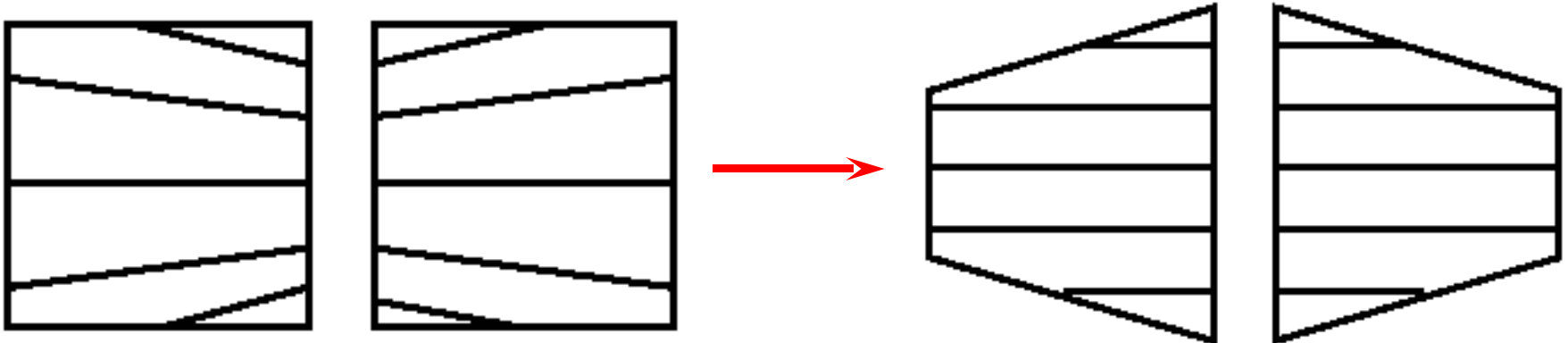


$$T' = (B, 0, 0),$$

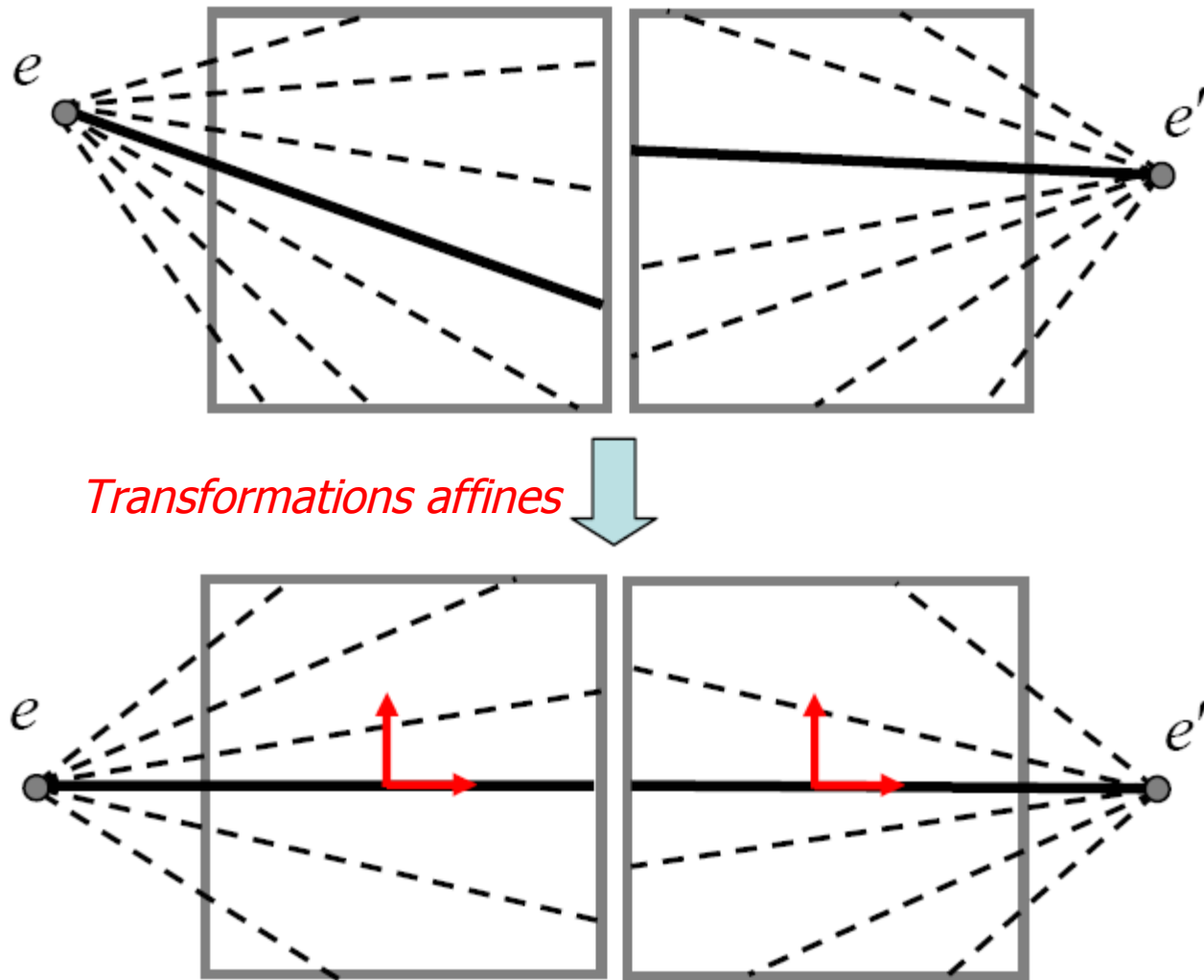
$$P'_r = P'_l - T'$$

Rectification d'images

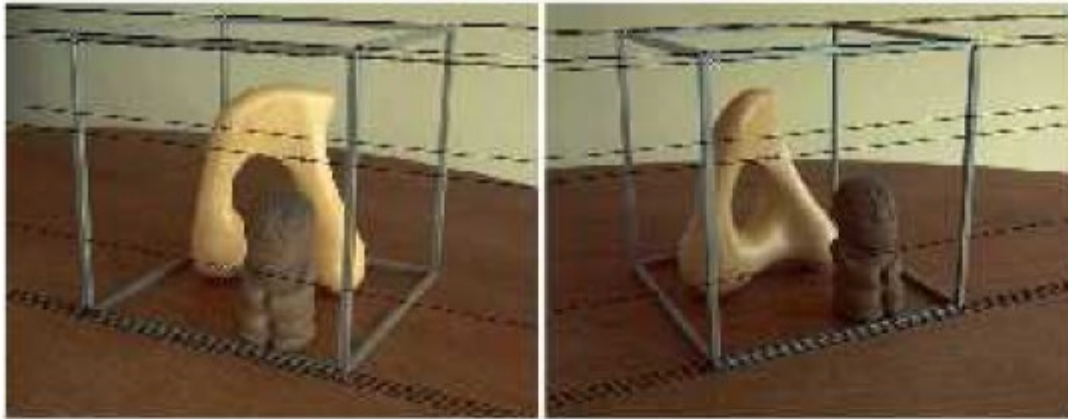
- Pour simplifier les calculs à suivre, une étape intermédiaire consiste à **rectifier les images**
 - **Idée** : appliquer une transformation aux deux images pour que leurs droites épipolaires soient parallèles et alignées
 - **Intérêt** : la recherche du point correspondant sur les droites épipolaires est grandement simplifiée
 - *Cette étape n'est pas obligatoire mais peut simplifier la suite*



Rectification d'images



Rectification d'images : exemple

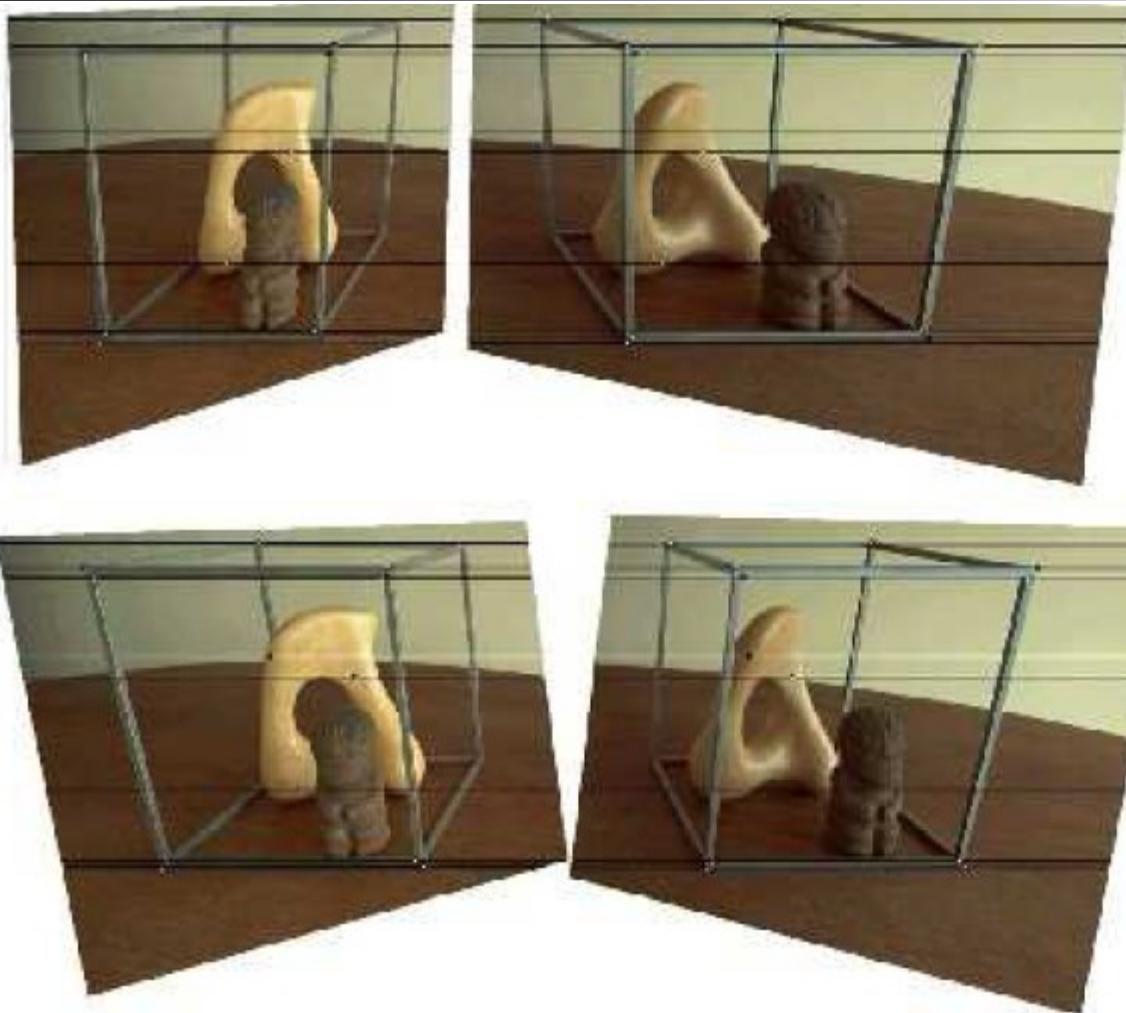


(a) Original image pair overlaid with several epipolar lines.



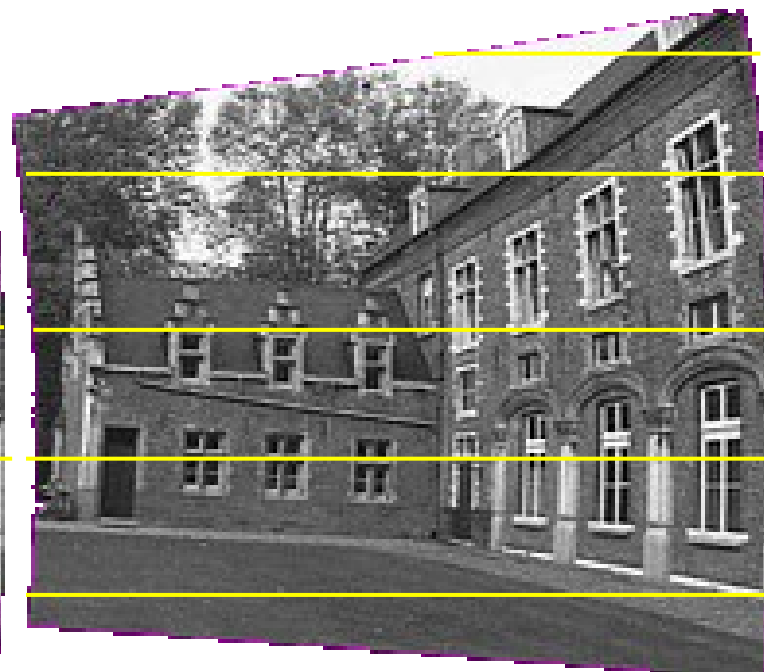
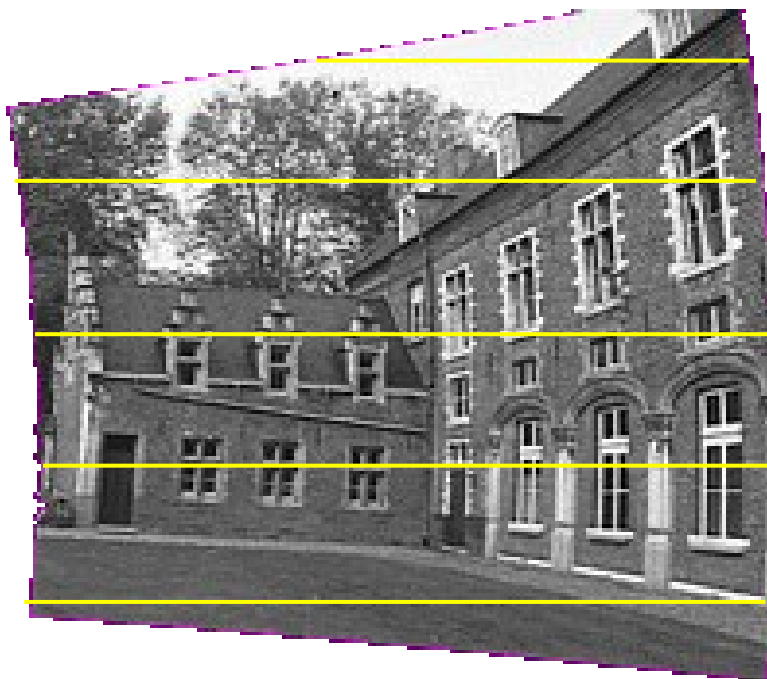
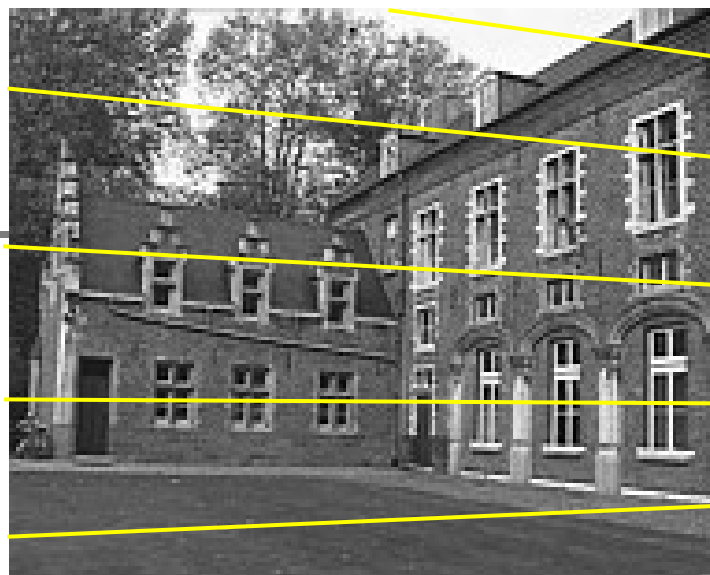
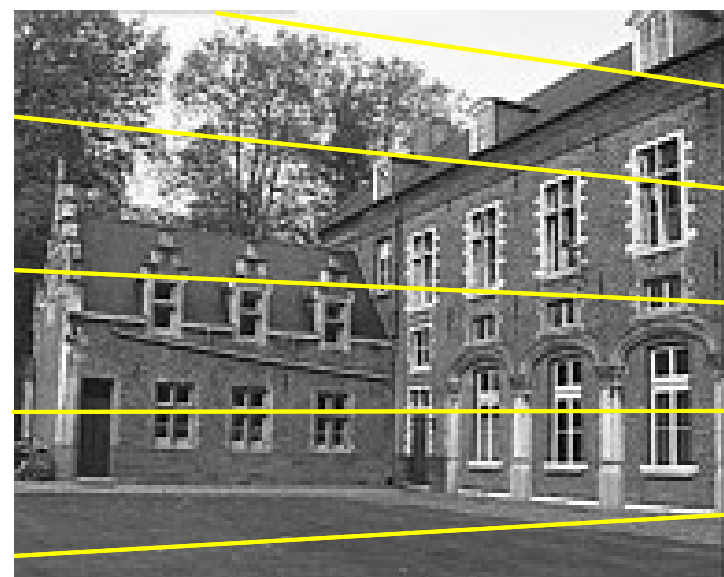
(b) Image pair transformed by the specialized projective mapping H_p and H'_p . Note that the epipolar lines are now parallel to each other in each image.

Rectification d'images : exemple

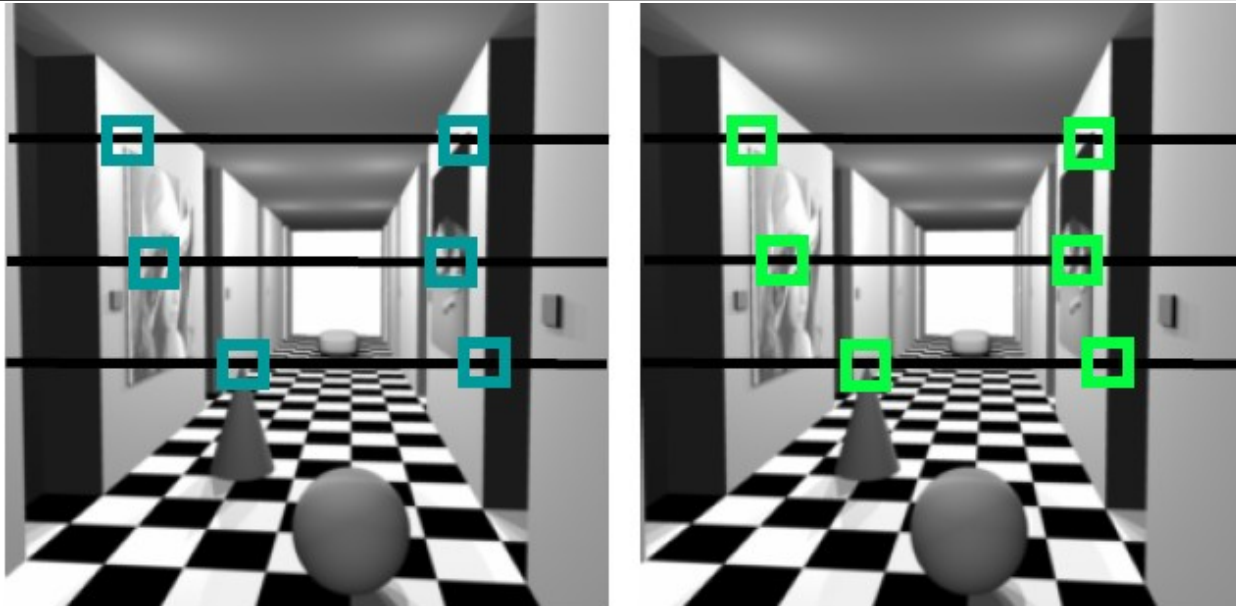


(c) Image pair transformed by the similarity H_r and H'_r . Note that the image pair is now rectified (the epipolar lines are horizontally aligned).

(d) Final image rectification after shearing transform H_s and H'_s . Note that the image pair remains rectified, but the horizontal distortion is reduced.

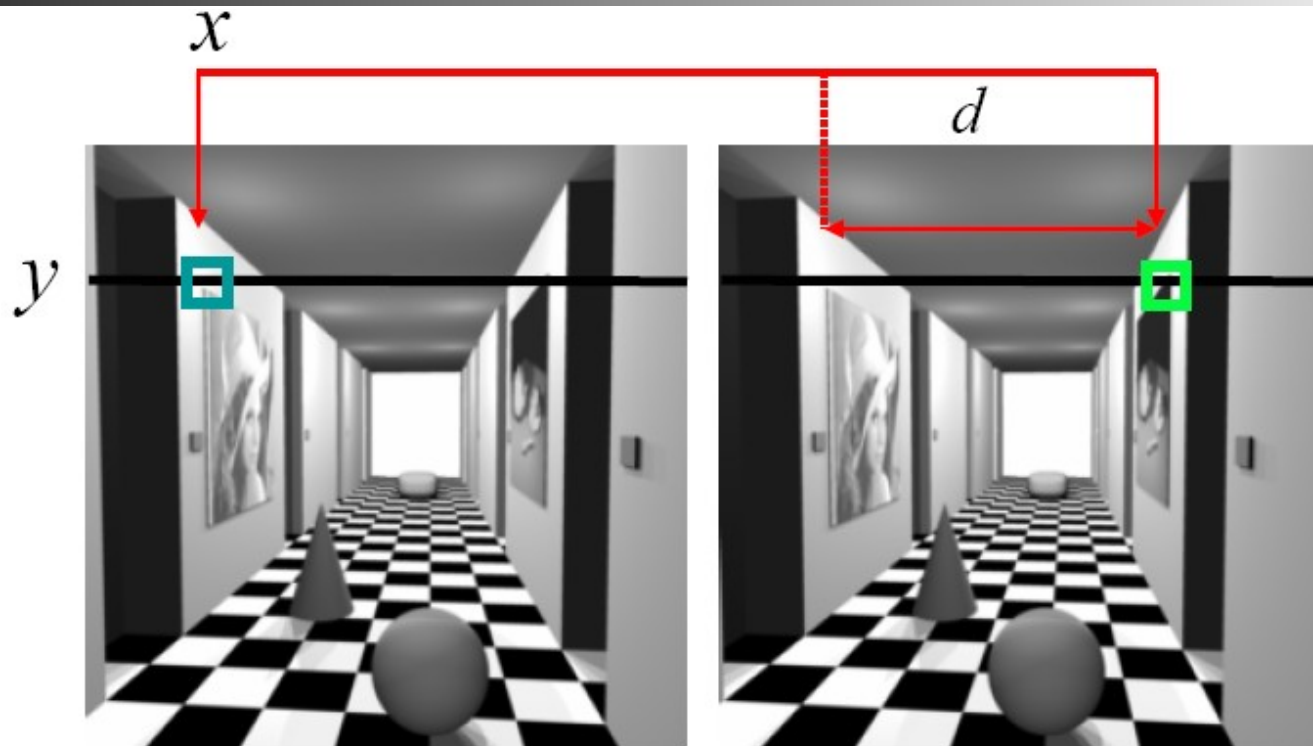


Utilité : corrélation sur images rectifiées



- Si les images sont rectifiées, alors la recherche des correspondances est beaucoup plus facile
- Il suffit de rechercher les zones similaires sur la même ligne (y constant)
- La **distance** ($x_2 - x_1$) entre les deux correspondances est une indication de la profondeur du point dans la scène

Corrélation sur images rectifiées



$$\sum (\text{cyan square} - \text{green square})^2 = \text{ssd}$$

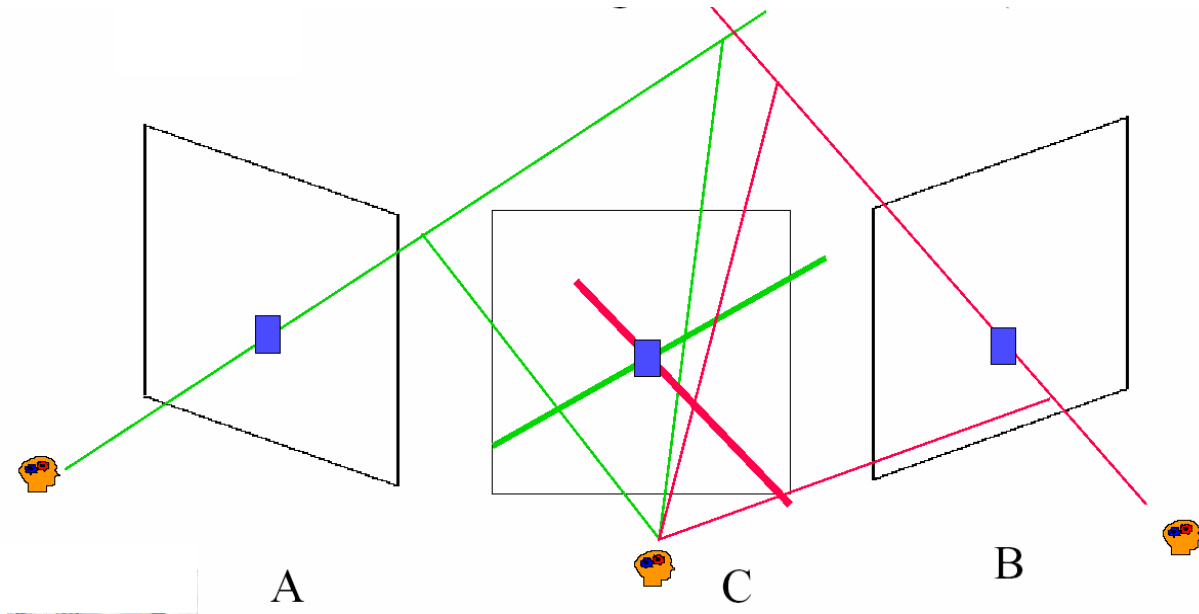
$$\text{ssd} = \sum_i \sum_j \left(I(x+i, y+j) - I'(x+i+d, y+j) \right)^2$$



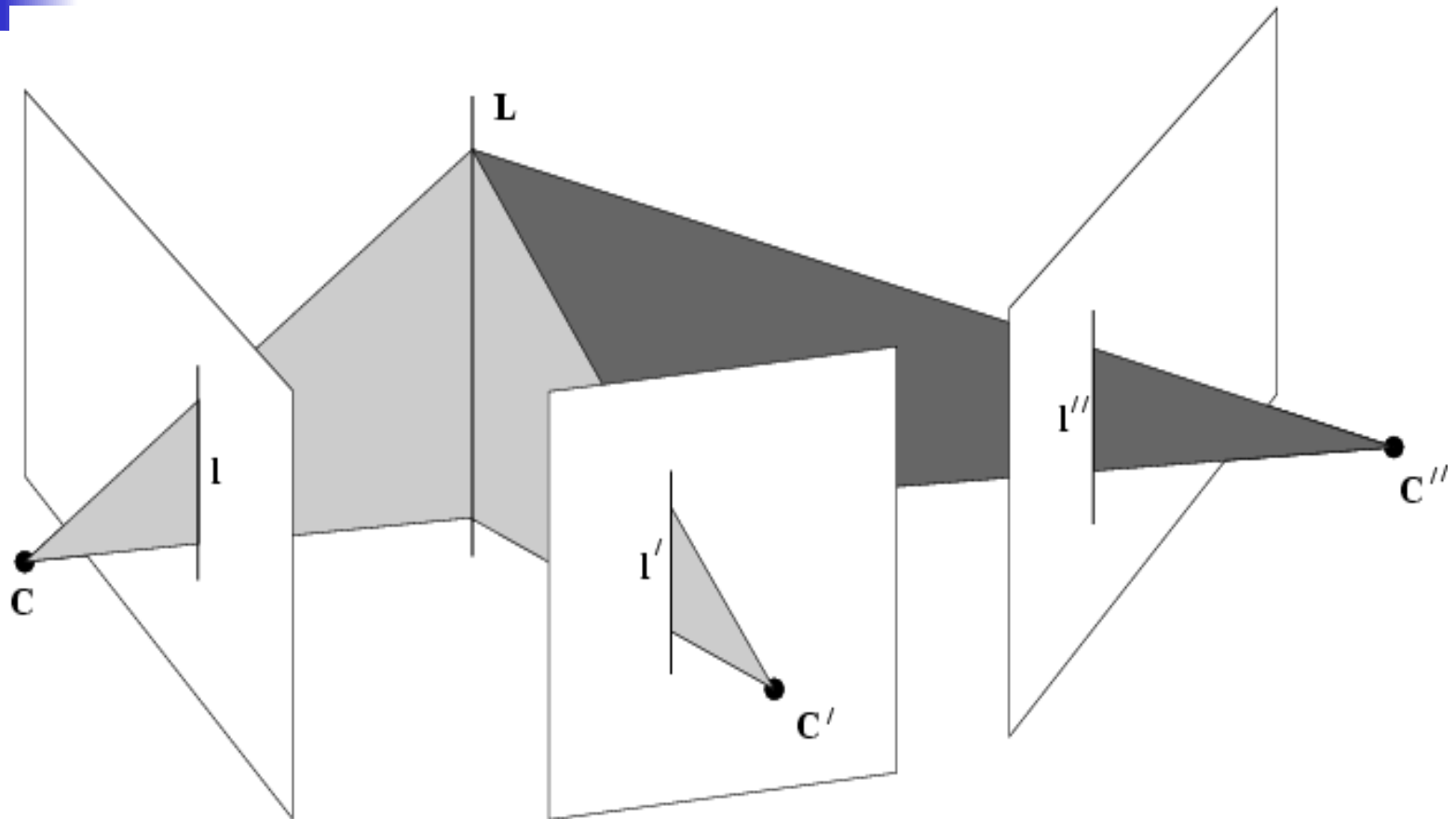
Plus de 2 caméras

Utilisation de 3 caméras

- Système de vision stéréoscopique trinoculaire
 - Hypothèse d'une correspondance entre A et B
 - Sur C : La **ligne verte** représente la droite épipolaire **entre A et C**
 - Sur C : La **ligne rouge** représente la droite épipolaire **entre B et C**
 - L'intersection des deux droites en C permet de vérifier l'hypothèse



Utilisation de 3 caméras



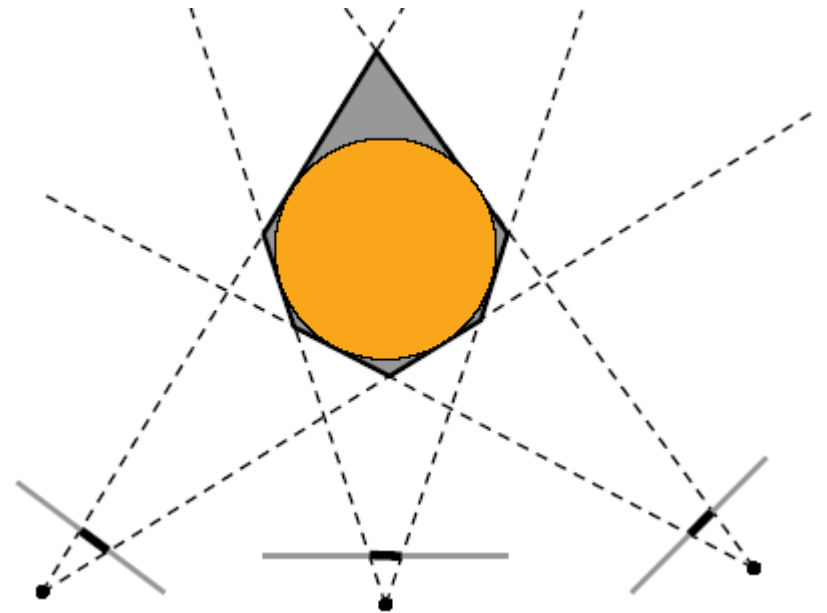
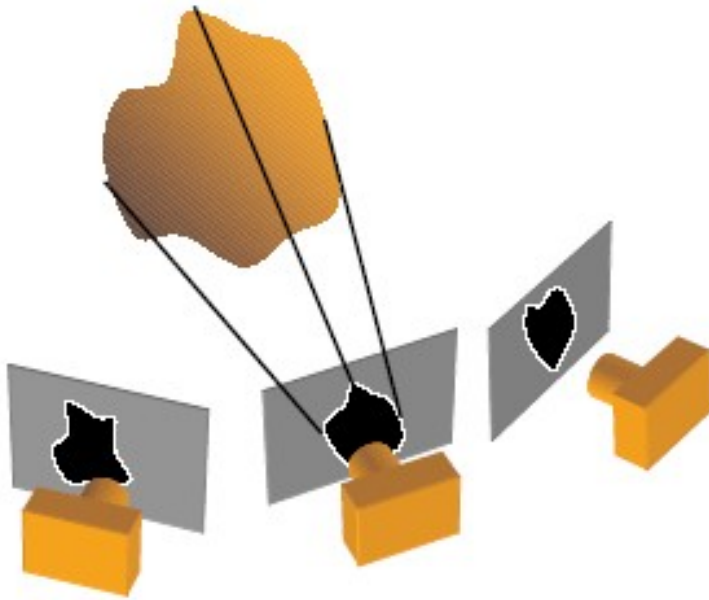
Trois lignes dans les images se croisent au même endroit en 3D
Plus de contraintes pour la mise en correspondance 3D



Reconstruction 3D (exemples)

Reconstruction 3D

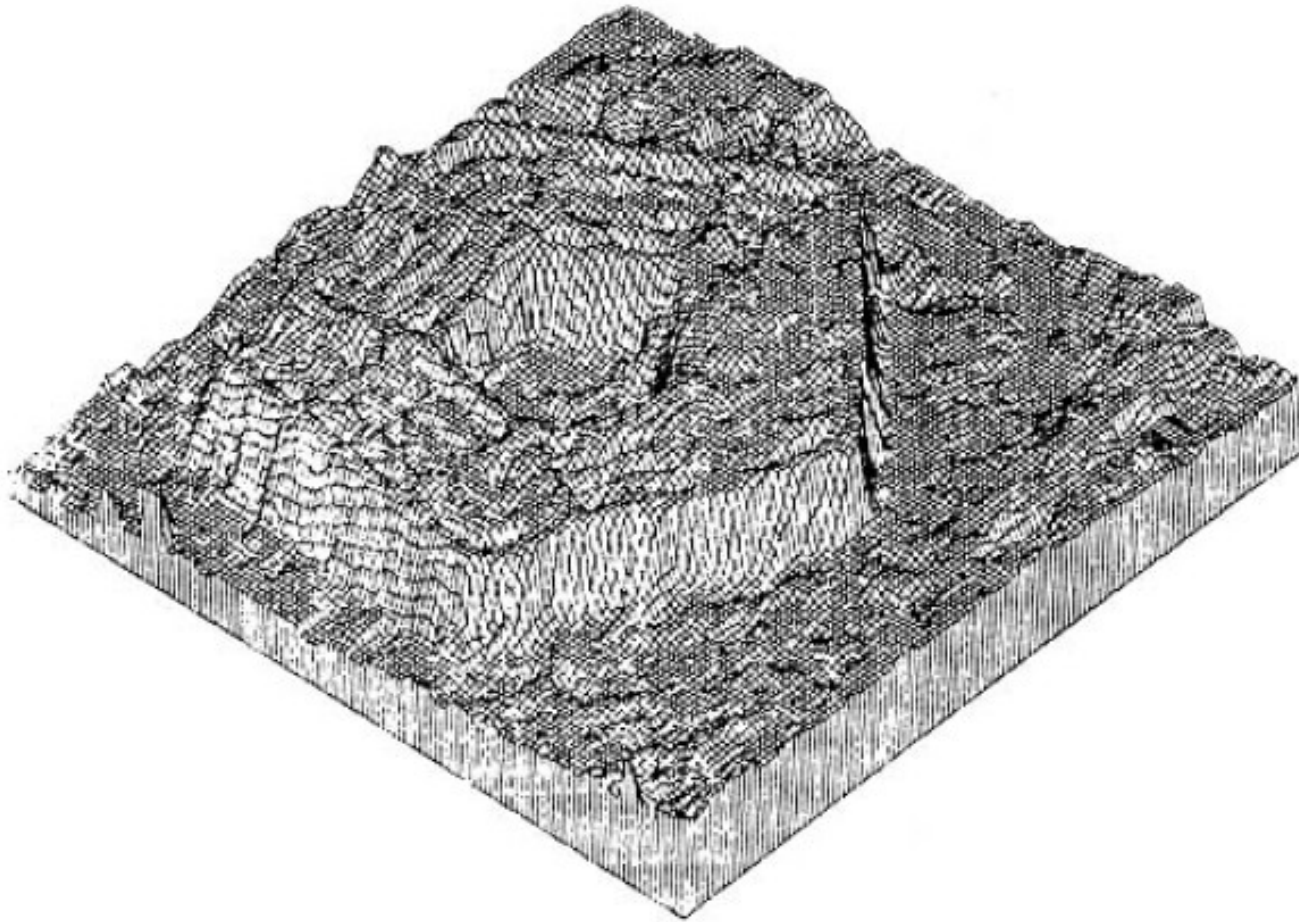
Avec plusieurs caméras, on peut reconstruire le volume 3D de l'objet



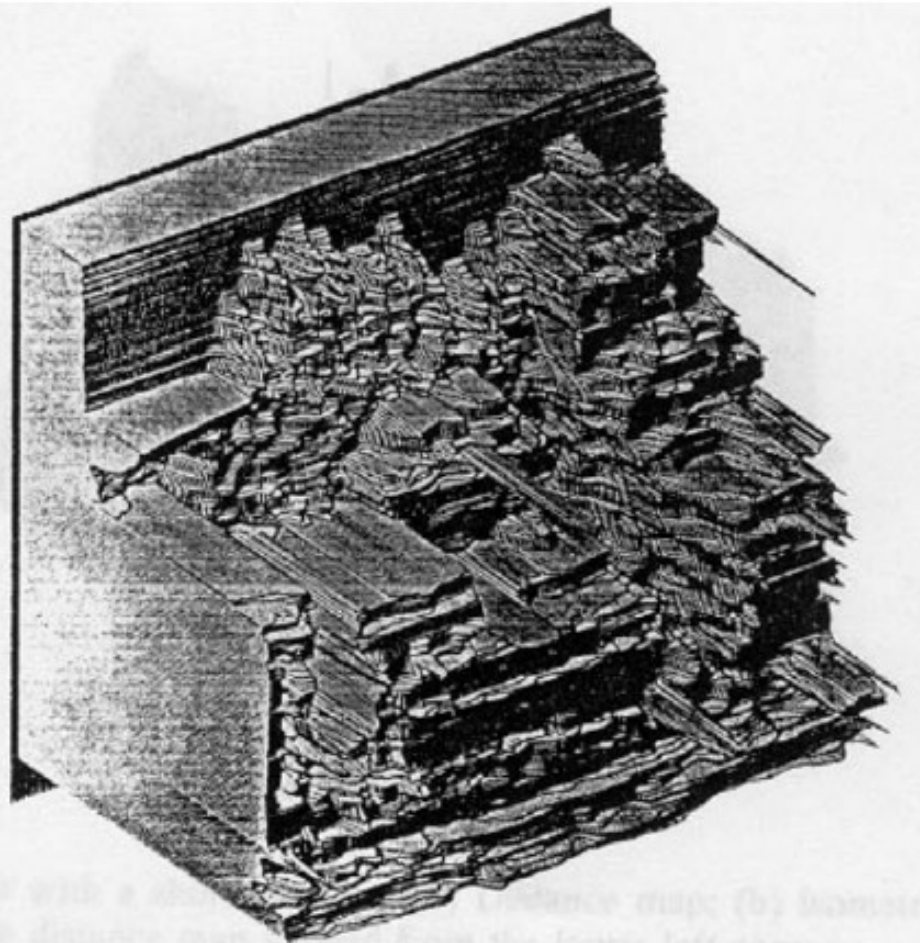
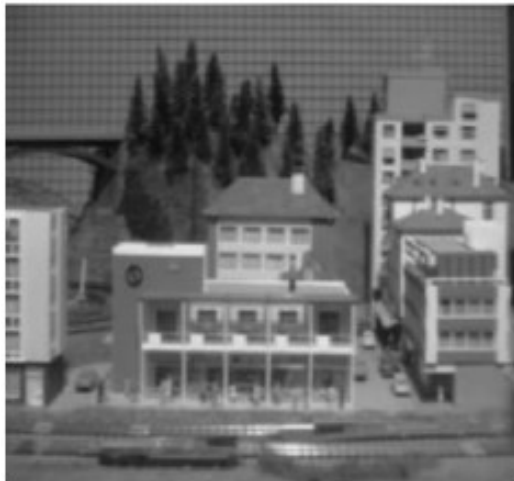
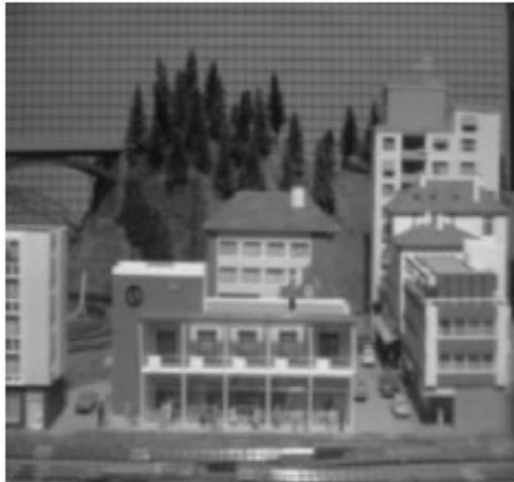
Une paire d'images stéréo...



...et sa reconstruction 3D



Reconstruction avec 10 images 2D



Interpolation de vues

- Etant donné deux images avec des correspondances, faire du *morphing* entre elles
[Chen & Williams, SIGGRAPH'93]



Entrée



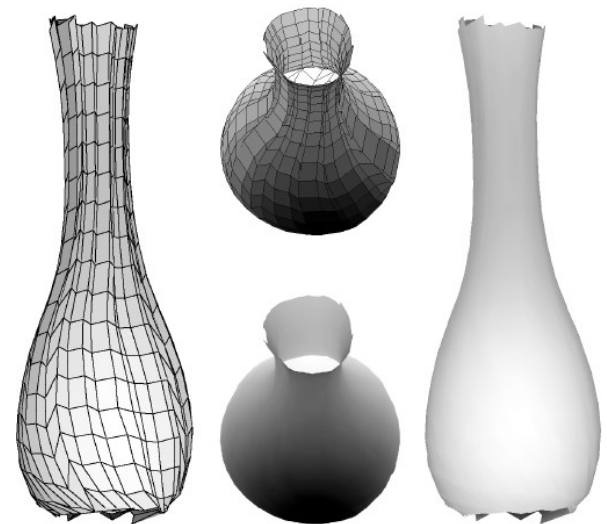
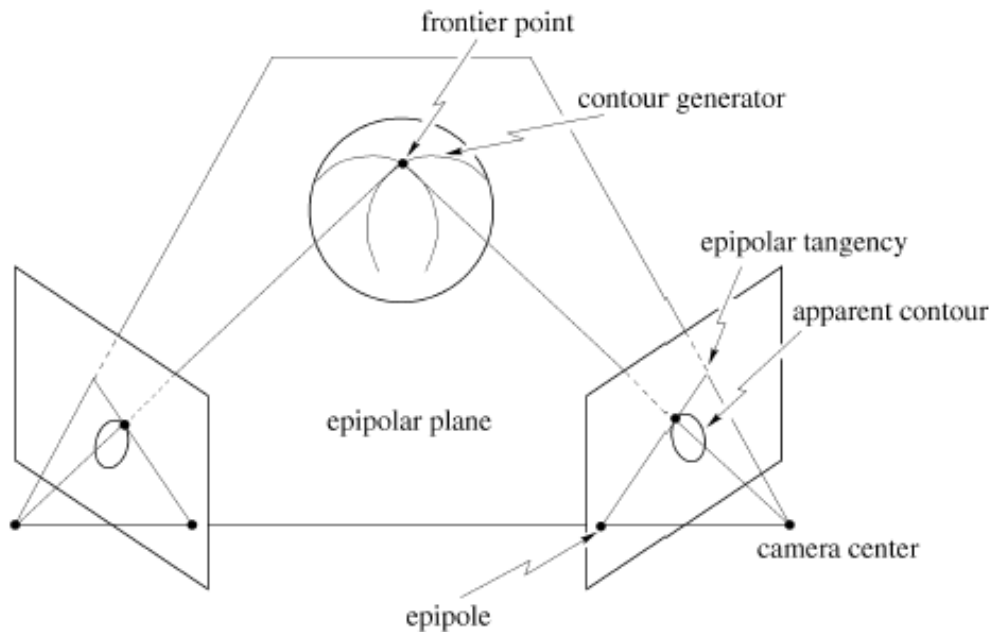
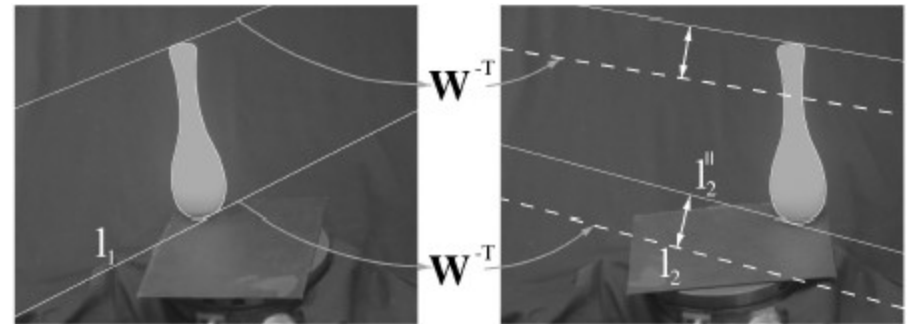
Carte des profondeurs



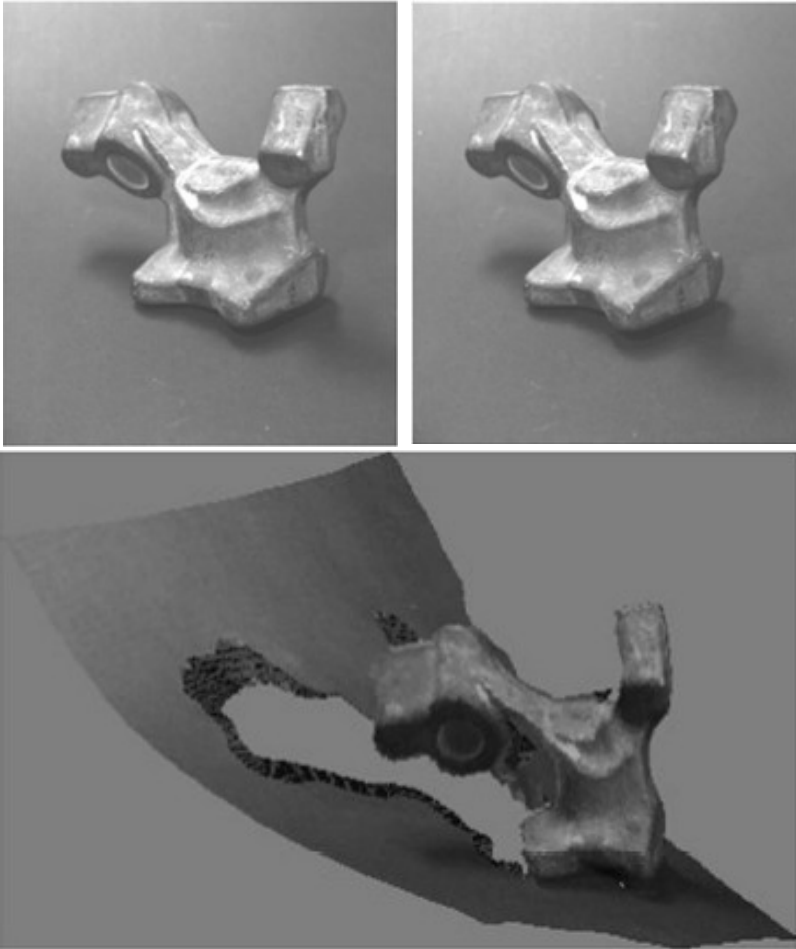
Sortie

Reconstruction 3D à partir d'images 2D

Géométrie épipolaire -
Reconstruction 3D à partir
d'images 2D (source:
Mendonça 2001)



Reconstruction 3D

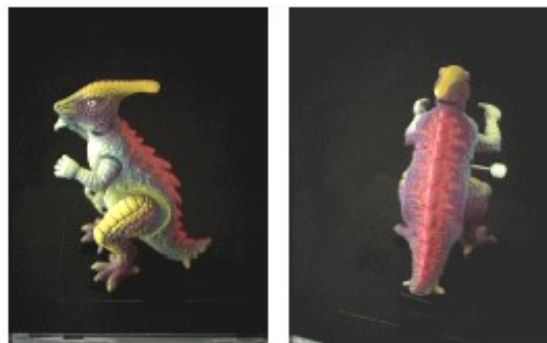


Inférence de surfaces avec un binoculaire stéréo (Lee et al. 2002)



Reconstruction 3D à partir de 3 vues affines (Quan et al. 2002)

Exemples de reconstruction 3D



Images de dinosaure



table tournante calibrée



Images de fleur



Image d'entrée
(1 sur 100)



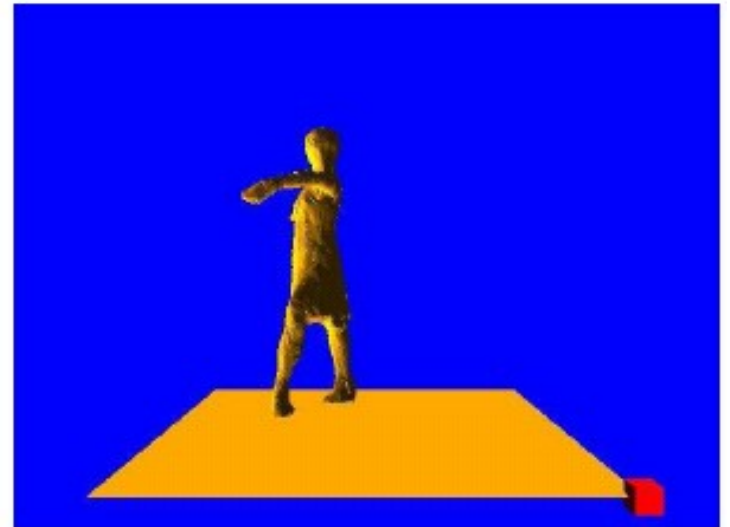
Vues de la reconstruction

Exemples de reconstruction 3D



« Virtualized Reality »

- Takeo Kanade, CMU
 - plus de 50 flux vidéo simultanés
- reconstruction de séquences de modèles 3D



Y from X : une seule caméra

- *Shape from X - Structure from X*
 - Plusieurs travaux tentent de retrouver l'information 3D avec une seule caméra en utilisant une autre information de profondeur
 - *X*: texture, shading, lighting, focus, defocus, motion, ...



Shape from illumination (Georghiades et al. 2001)



Références

(voir aussi la page web du cours)

- Marc Pollefeys, Multiple View Geometry (comp290-89 Spring 2003), University of North Carolina (USA).
 - Class 15 Rectification and structure reconstruction
<http://www.cs.unc.edu/~marc/mvg/course15.ppt>
 - Class 17 The Trifocal Tensor
<http://www.cs.unc.edu/~marc/mvg/course17.ppt>
 - Class 23 Multi-View Reconstruction
<http://www.cs.unc.edu/~marc/mvg/course23.ppt>

- Zhigang Zhu, Video Computing and 3D Computer Vision (CSc 80000 Spring 2005), The City University of New York (CUNY, USA).
 - <http://www-cs.engr.ccny.cuny.edu/~zhu/GC-Spring2005/CSc80000-2-VisionCourse.html>
 - Lecture 5 Stereo Vision
http://www-cs.engr.ccny.cuny.edu/~zhu/GC-Spring2005/Handouts/CVVC_Lecture5_Stereo.ppt