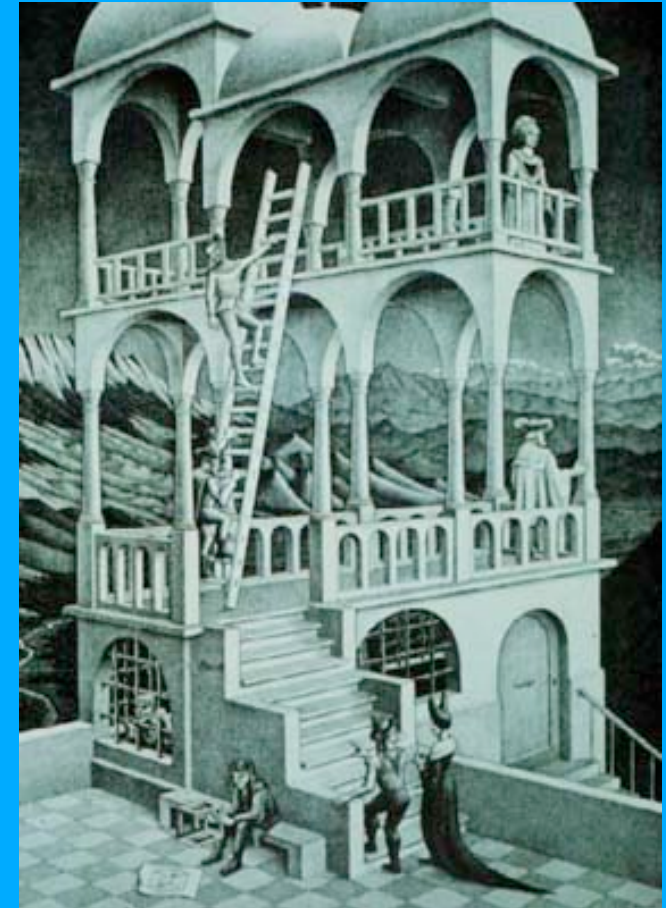


Introduction à la Vision 3D

David Fofi

Le2i UMR CNRS 6306 – IUT Le Creusot

Les applications présentées sont le fruit d'une collaboration entre le Le2i et le laboratoire VICOROB de l'Université de Gérone (Espagne).



Les systèmes d'acquisition 3D

Sommaire

Introduction

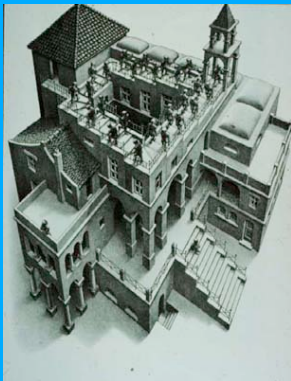
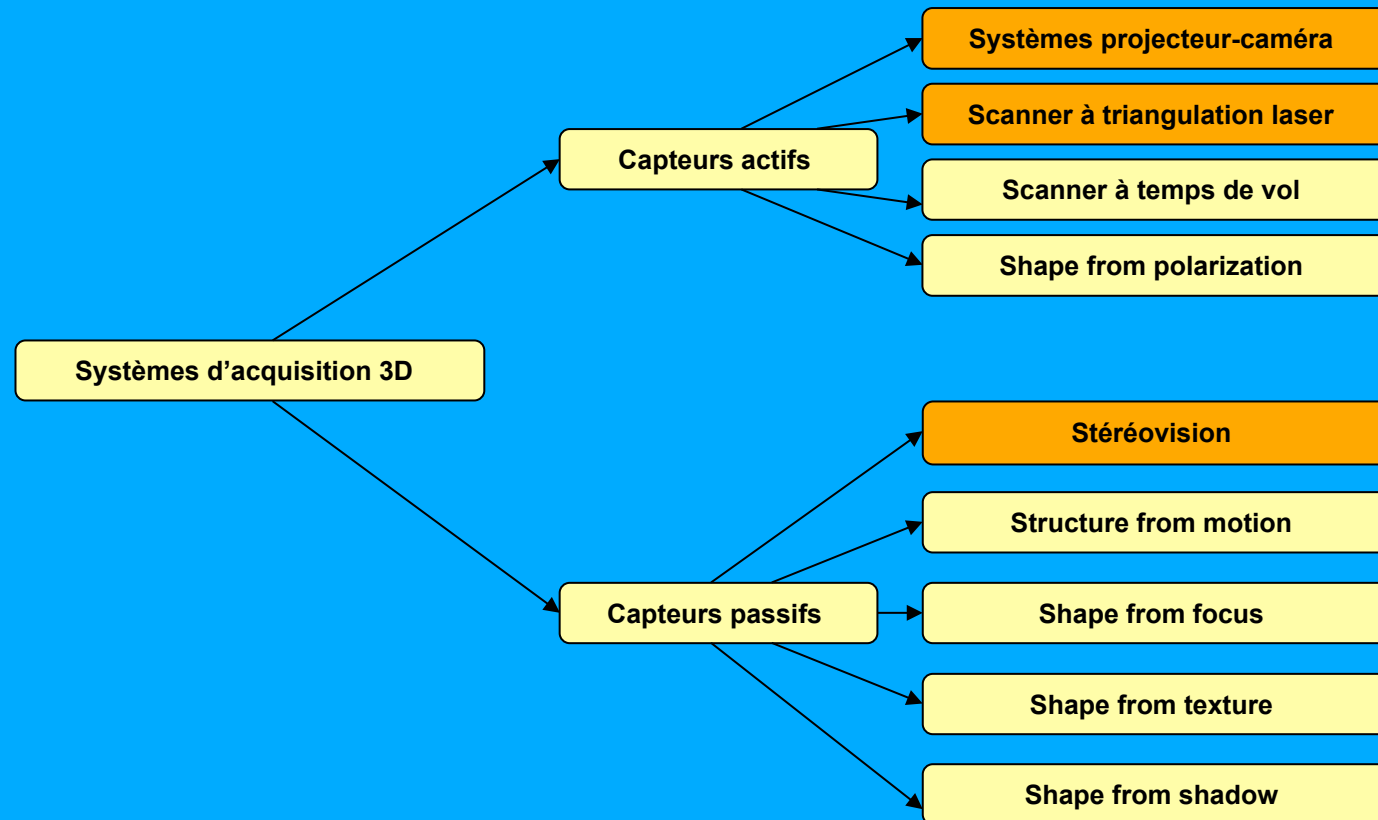
Stéréovision

Scanner à triangulation laser

Systèmes Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion



Sommaire

Introduction

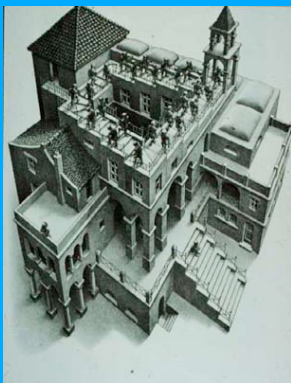
Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

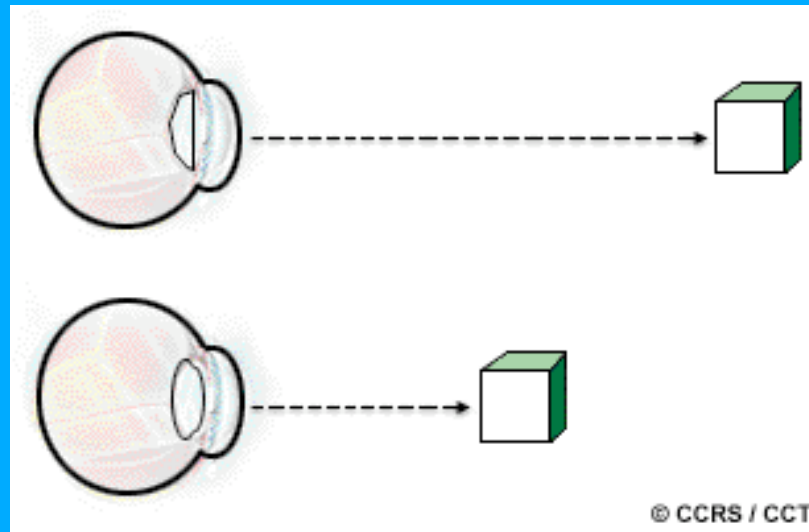
Applications

Conclusion



La **perception de la profondeur** repose sur dix indicateurs :

- 4 indicateurs physiologiques
- 6 indicateurs psychologiques



Accommodation : ajustement de la longueur focale du cristallin
indice mineur

Sommaire

Introduction

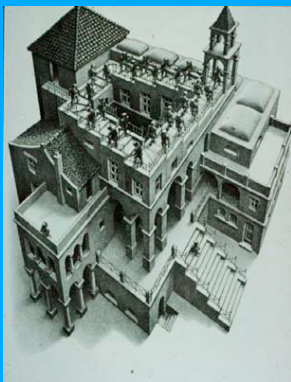
Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

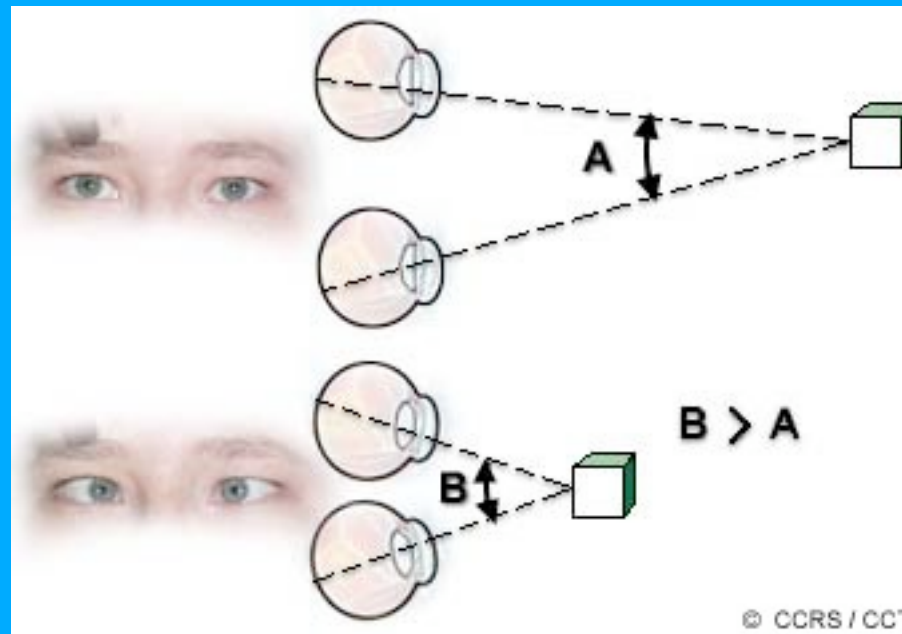
Applications

Conclusion



La **perception de la profondeur** repose sur dix indicateurs :

- 4 indicateurs physiologiques
- 6 indicateurs psychologiques



Convergence : angle entre l'axe de visée de chaque œil
indice mineur

Sommaire

Introduction

Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

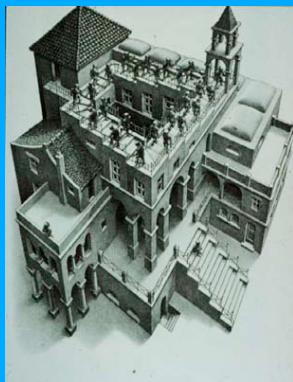
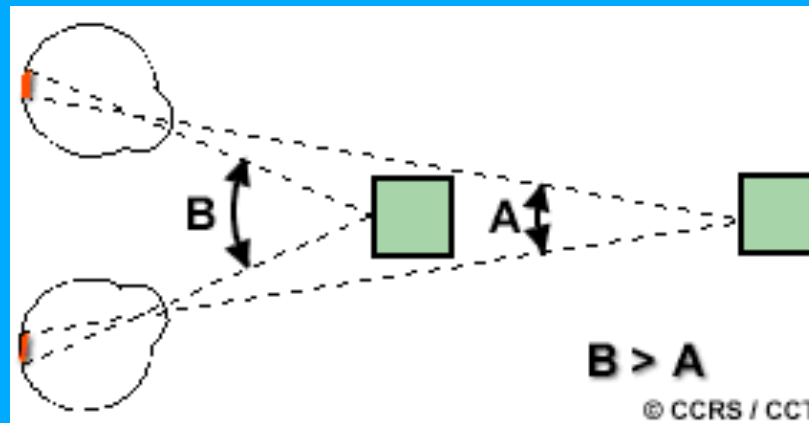
Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion

La **perception de la profondeur** repose sur dix indicateurs :

- 4 indicateurs physiologiques
- 6 indicateurs psychologiques



Disparité : différence entre deux images d'un même objet
indice majeur

Sommaire

Introduction

Séréovision

Scanner à
triangulation laser

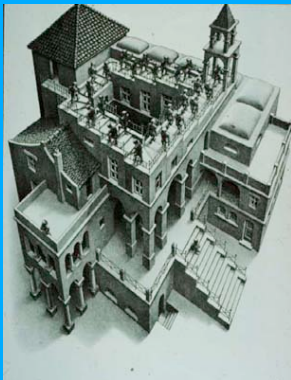
Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion

La **perception de la profondeur** repose sur dix indicateurs :

- 4 indicateurs physiologiques
- 6 indicateurs psychologiques



Parallaxe du mouvement : les objets éloignés paraissent se mouvoir lentement par rapport aux objets rapprochés

Sommaire

Introduction

Séréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

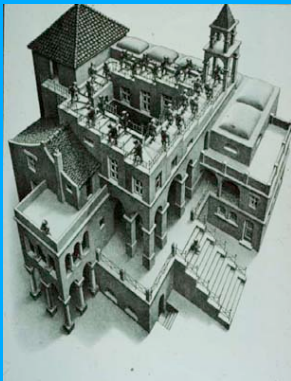
Applications

Conclusion

La **perception de la profondeur** repose sur dix indicateurs :

- 4 indicateurs physiologiques
- 6 indicateurs psychologiques

Taille de l' image rétinienne : plus
l' image est grande plus l' objet semble
proche



Sommaire

Introduction

Séréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

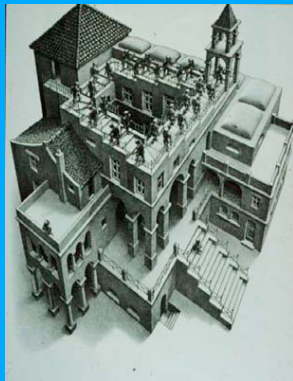
Conclusion

La **perception de la profondeur** repose sur dix indicateurs :

- 4 indicateurs physiologiques
- 6 indicateurs psychologiques



Perspective linéaire : réduction progressive de la taille de l'image à mesure que la distance de l'objet augmente



Sommaire

Introduction

Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

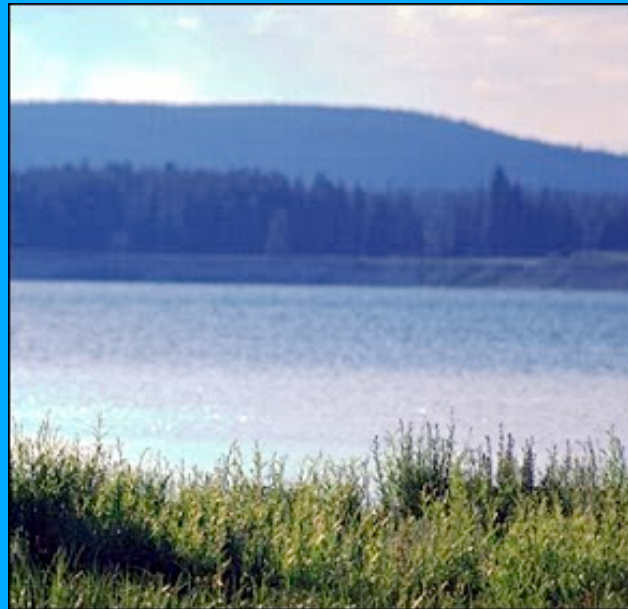
Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

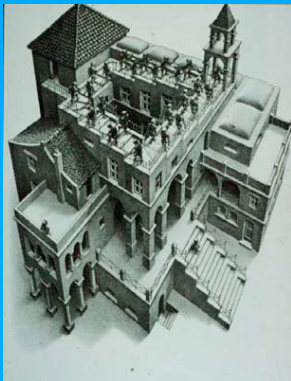
Conclusion

La **perception de la profondeur** repose sur dix indicateurs :

- 4 indicateurs physiologiques
- 6 indicateurs psychologiques



Perspective de surface : flou que les objets acquièrent avec la distance



Sommaire

Introduction

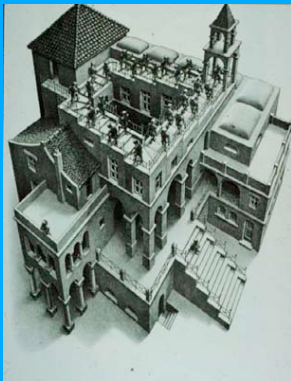
Séréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

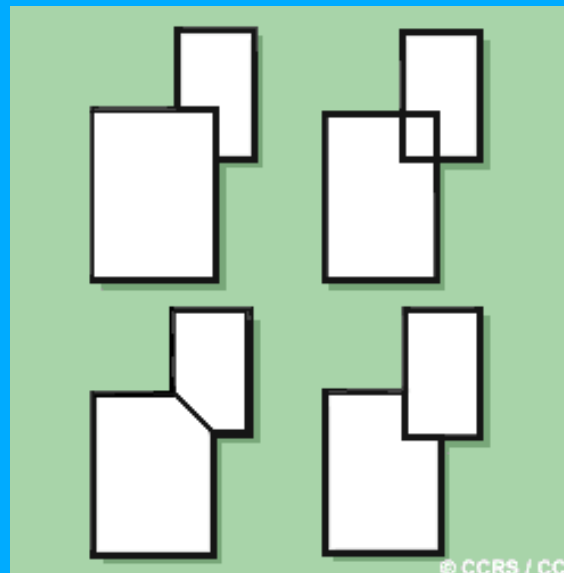
Applications

Conclusion



La **perception de la profondeur** repose sur dix indicateurs :

- 4 indicateurs physiologiques
- 6 indicateurs psychologiques



Recouvrement : effet produit lorsque des contours continus semblent plus près de l'observateur

Sommaire

Introduction

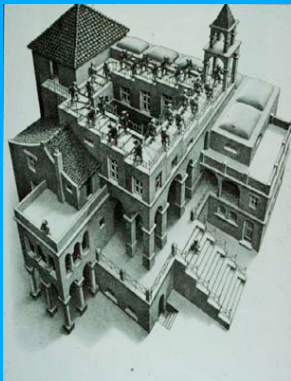
Séréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

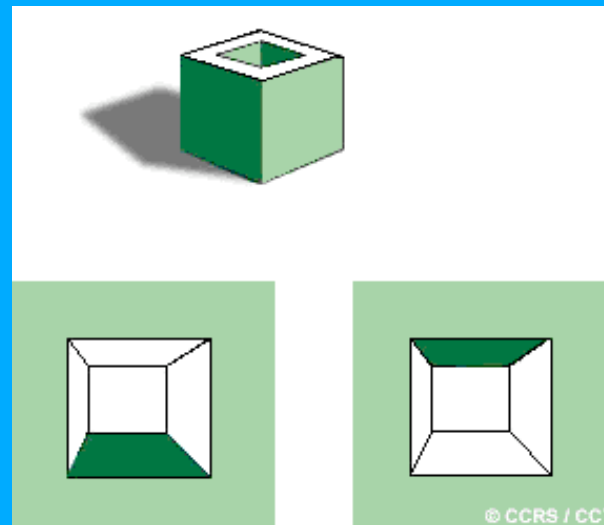
Applications

Conclusion



La **perception de la profondeur** repose sur dix indicateurs :

- 4 indicateurs physiologiques
- 6 indicateurs psychologiques



Nuances et ombres : impression de convexité ou de concavité provoquée par l'éclairage

Sommaire

Introduction

Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

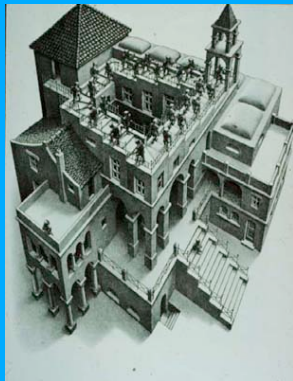
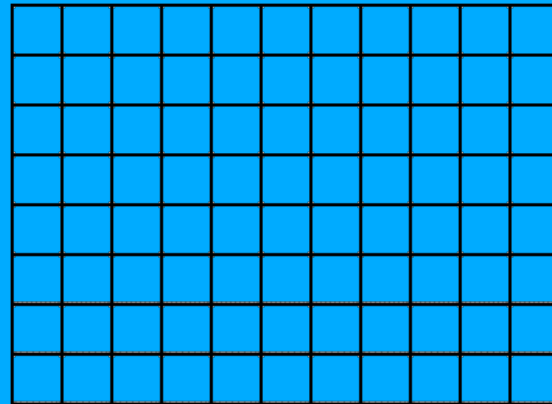
Applications

Conclusion

La **perception de la profondeur** repose sur dix indicateurs :

- 4 indicateurs physiologiques
- 6 indicateurs psychologiques

Gradient de texture : type de perspective linéaire qui correspond au degré de rugosité d'un objet uniforme à mesure qu'il s'éloigne



Sommaire

Introduction

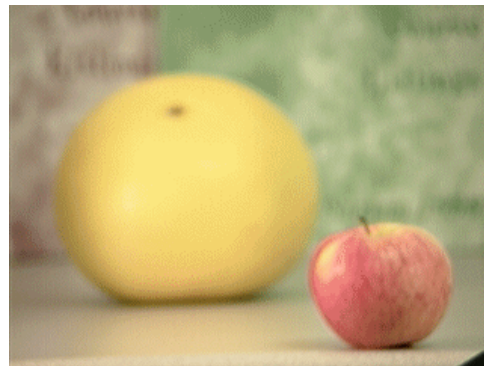
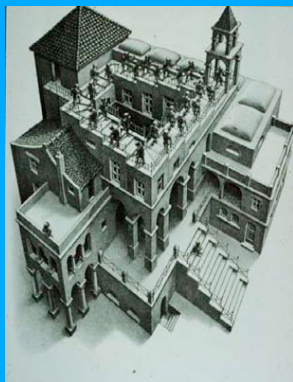
Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

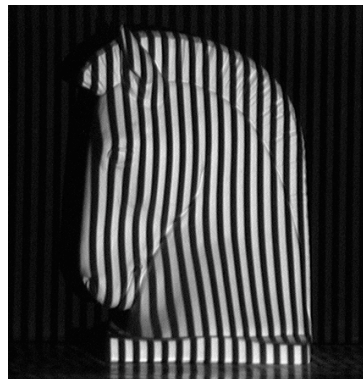
Conclusion



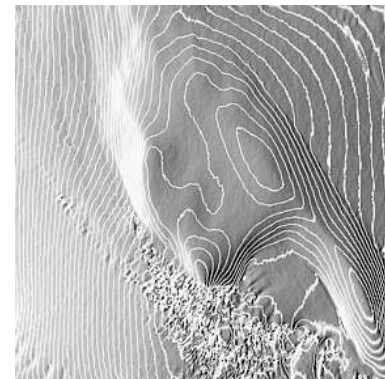
Changement de mise au point



Stéréovision – vues multiples



Lumière structurée



Ombres

Sommaire

Introduction

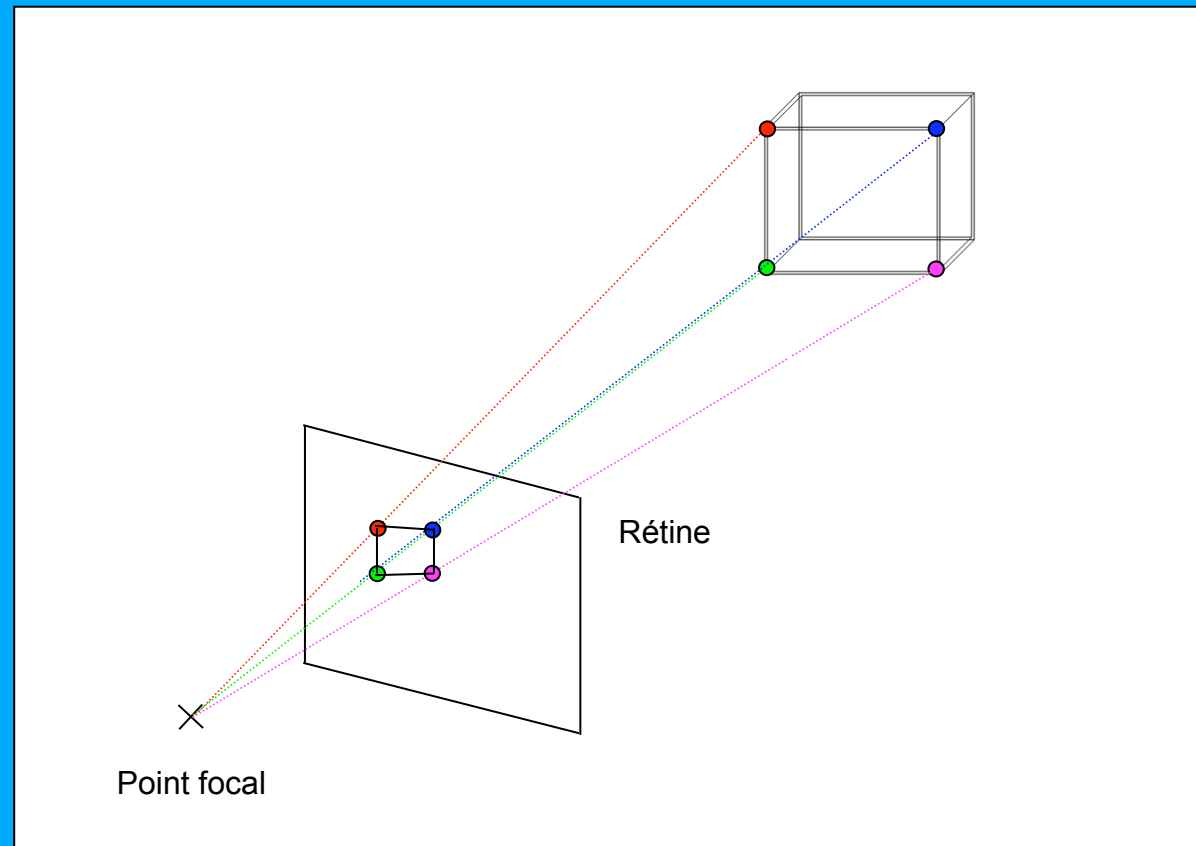
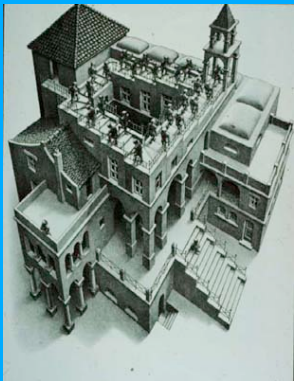
Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion



Principe de la stéréovision

Sommaire

Introduction

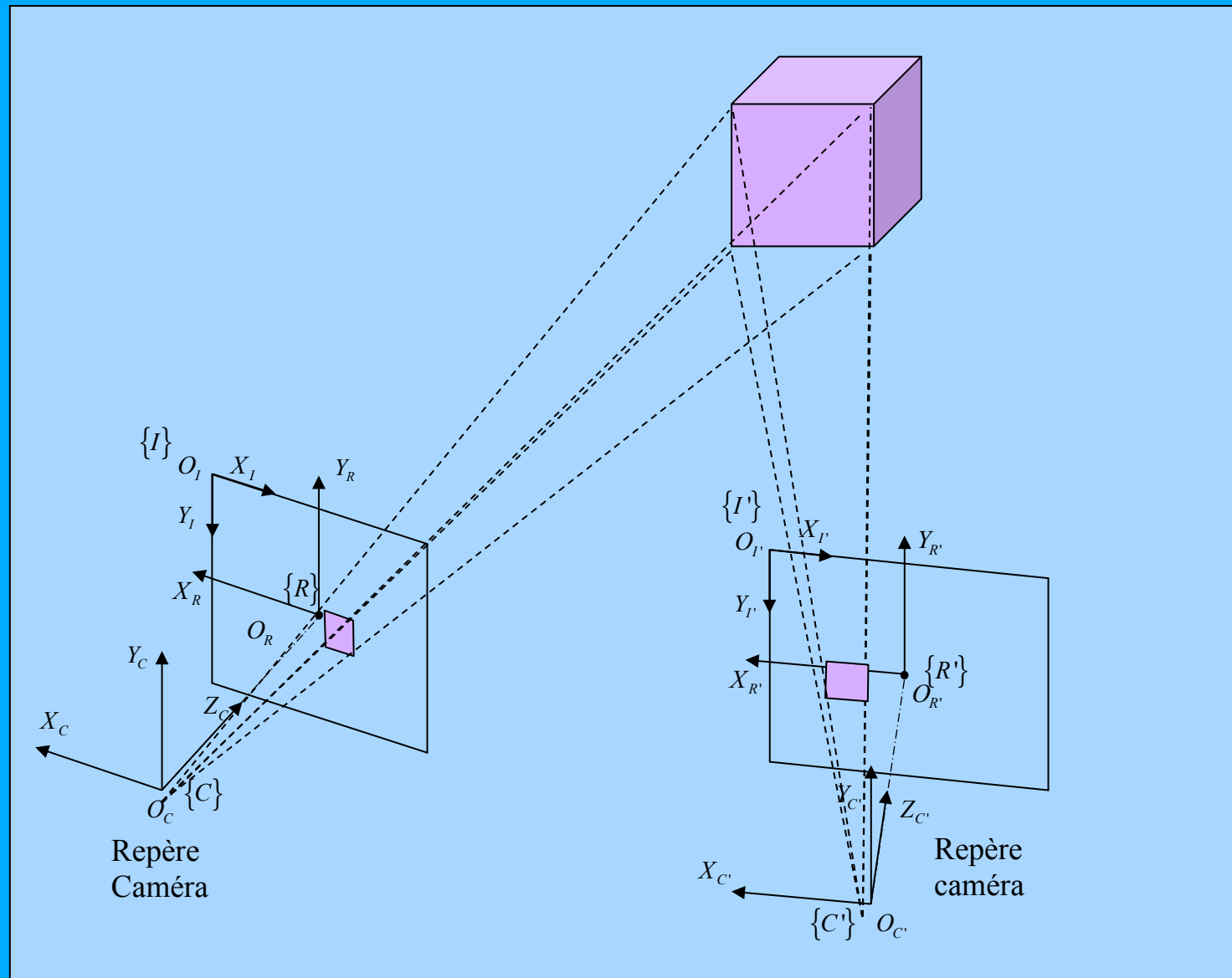
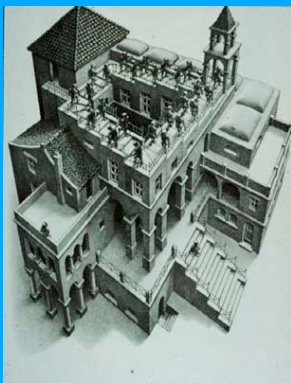
Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion



Sommaire

Introduction

Stéréovision

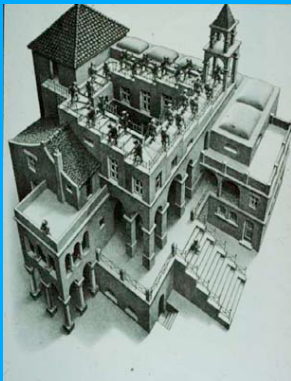
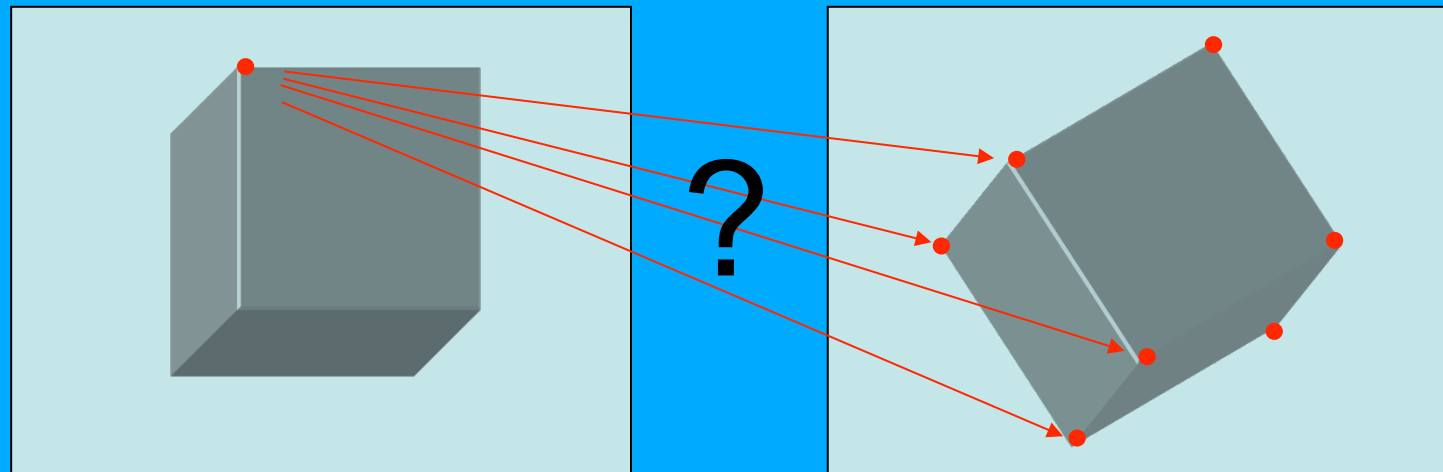
Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion

Objectif : associés les points des deux images qui correspondent au même point physique....



Sommaire

Introduction

Stéréovision

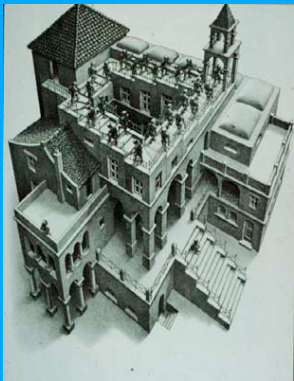
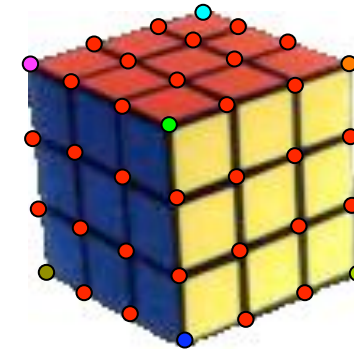
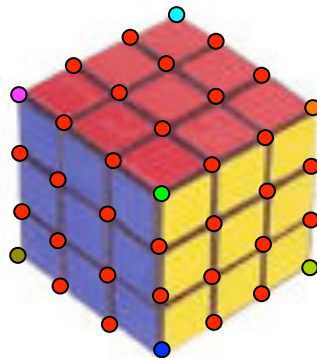
Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion

La mise en correspondance peut être facilitée par l'utilisation d'indices visuelles (ici : la couleur).



Sommaire

Introduction

Stéréovision

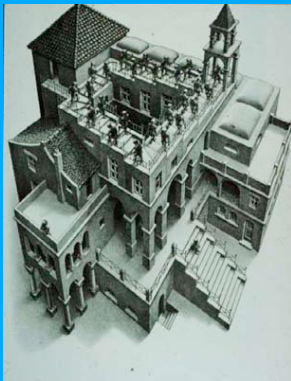
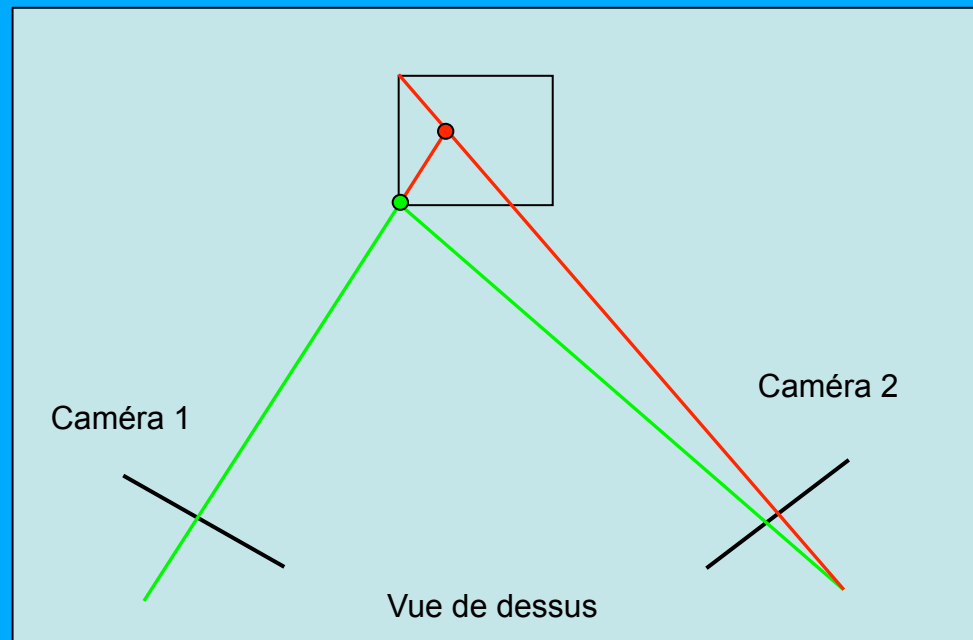
Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion

Une mauvaise mise en correspondance conduit à une mesure erronée !!!!



Sommaire

Introduction

Séréovision

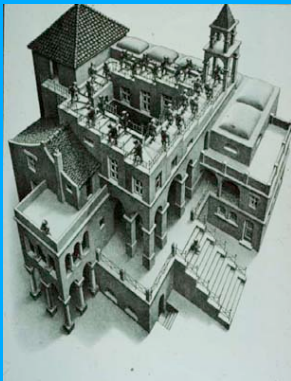
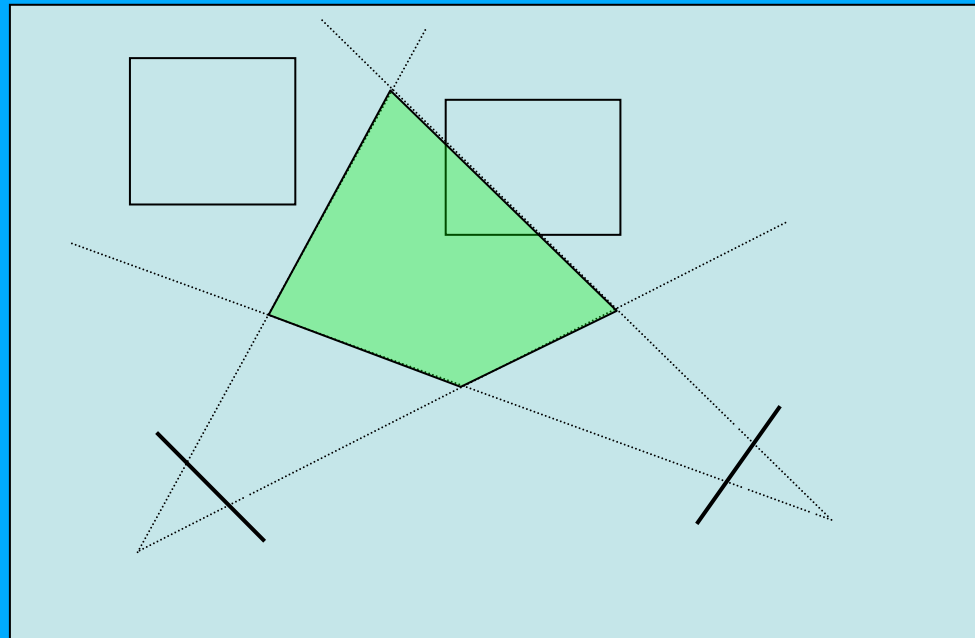
Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion

Les difficultés sont nombreuses : **zones d'occultation**, zones de contraction, zones homogènes.



Sommaire

Introduction

Stéréovision

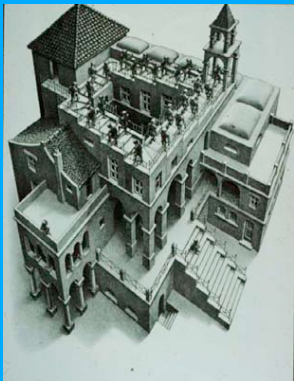
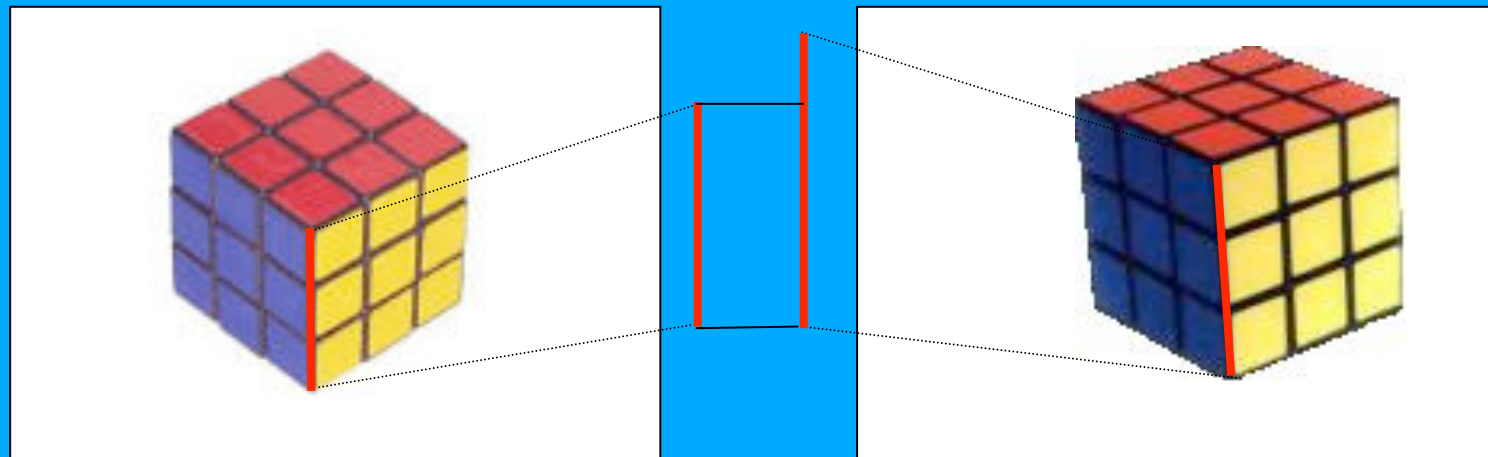
Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion

Les difficultés sont nombreuses : zones d'occultation, **zones de contraction**, zones homogènes.



Sommaire

Introduction

Stéréovision

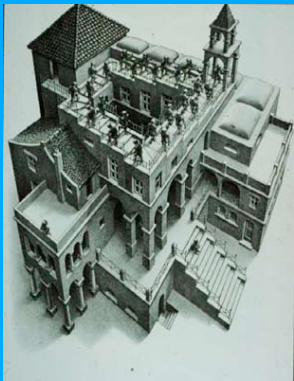
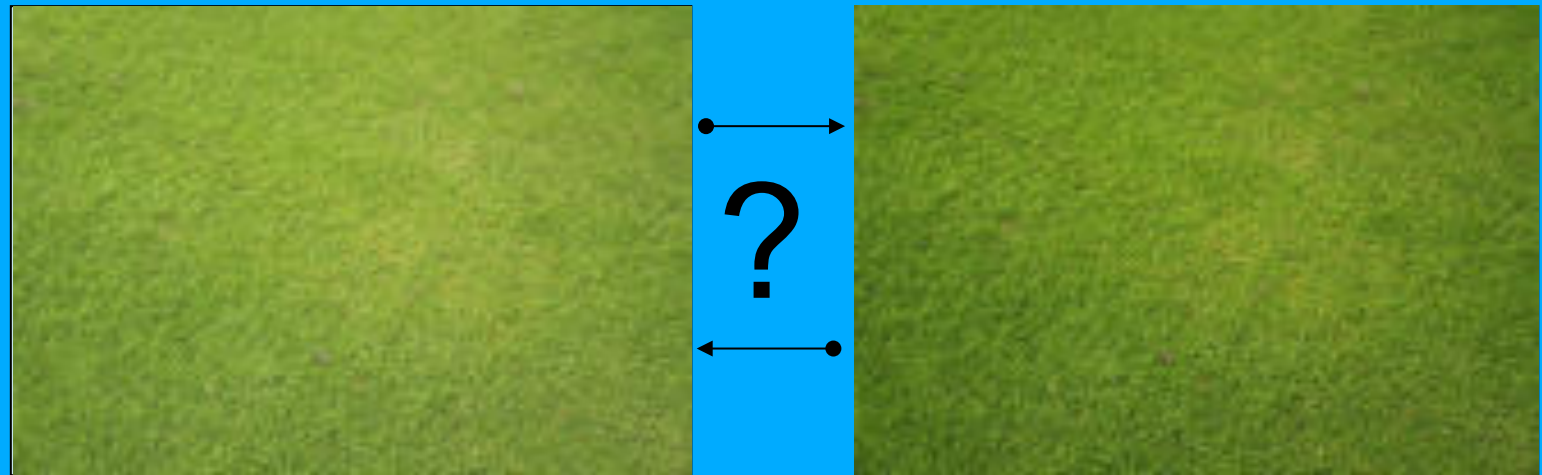
Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion

Les difficultés sont nombreuses : zones d'occultation, zones de contraction, **zones homogènes**.



Sommaire

Introduction

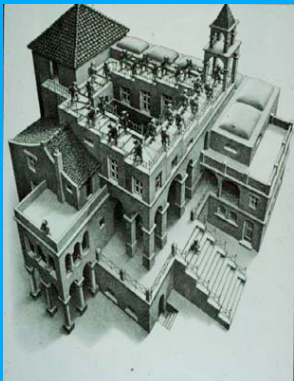
Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

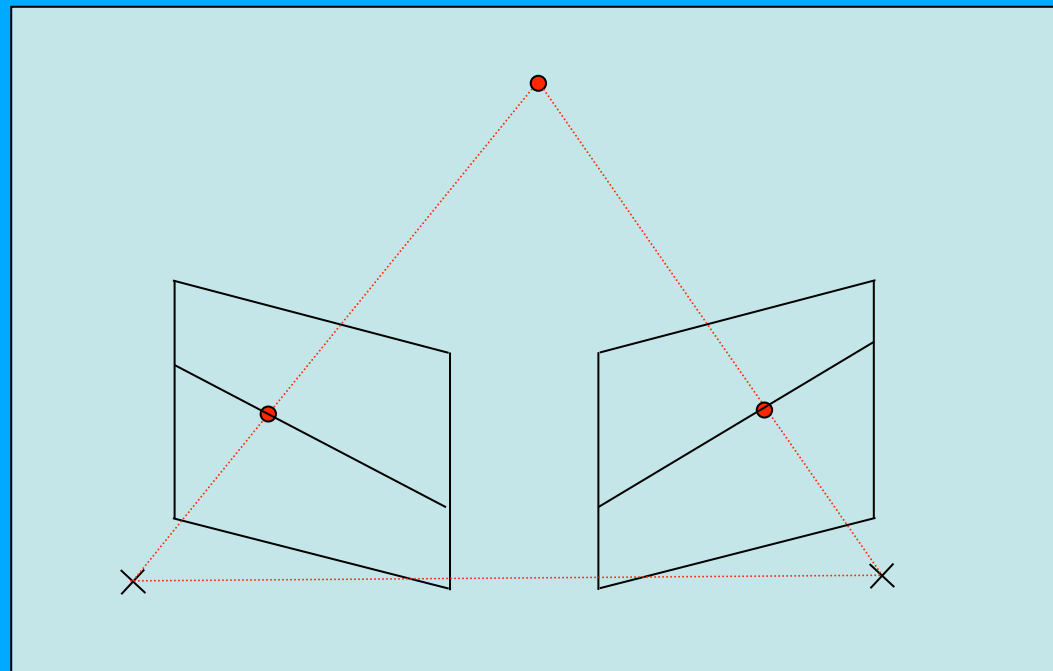
Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion



Une contrainte pour simplifier la mise en correspondance :
la **contrainte épipolaire**.



Sommaire

Introduction

Stéréovision

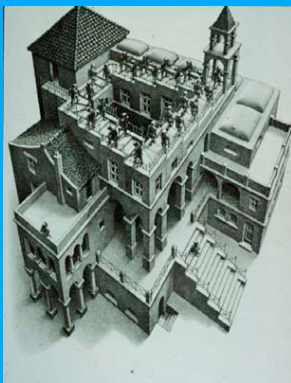
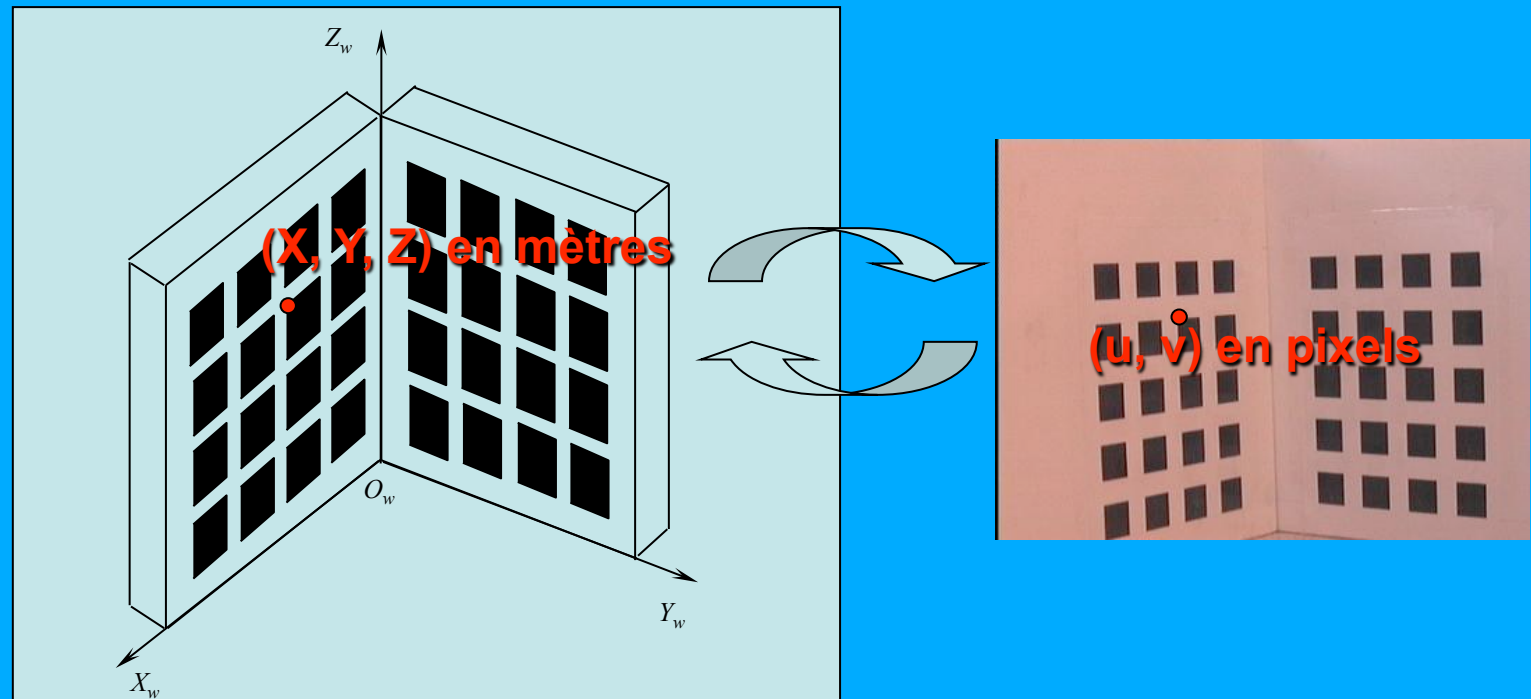
Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion

Calibrer, c'est évaluer la transformation qui permet de passer des données de l'image (en pixels) aux données réelles (en mètres).



Sommaire

Introduction

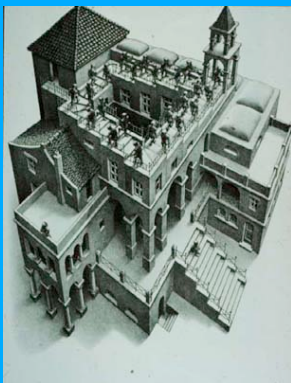
Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion



Caractéristiques
optiques de la
caméra

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_u & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_v & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Point image (pixels)

Position et
orientation de la
caméra

Point 3D (mètres)

Sommaire

Introduction

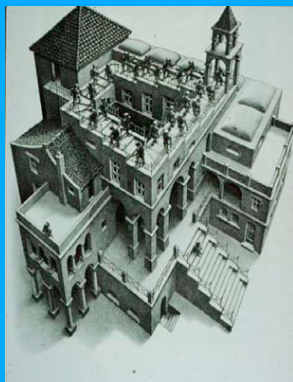
Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion



Résolution : égale au mieux à la résolution de l' image (si la mise en correspondance est parfaitement dense ! -> très difficile à obtenir)

Précision : dépend de la méthode de calibrage utilisée :

	2D distorted image (pix.)			2D undistorted image (pix.)		
	Mean	σ	Max	Mean	σ	Max
Hall	0.2676	0.1979	1.2701	0.2676	0.1979	1.2701
Faugeras	0.2689	0.1997	1.2377	0.2689	0.1997	1.2377
Faugeras NR without distortion	0.2770	0.2046	1.3692	0.2770	0.2046	1.3692
Faugeras NR with distortion	0.0840	0.0458	0.2603	0.0834	0.0454	0.2561
Tsai	0.1836	0.1022	0.6082	0.1824	0.1011	0.6011
Tsai optimized	0.0838	0.0457	0.2426	0.0832	0.0453	0.2386
Tsai with principal point of Tsai optimized	0.0879	0.0466	0.2277	0.0872	0.0463	0.2268
Tsai optimized with principal point of Tsai optimized	0.0836	0.0457	0.2500	0.0830	0.0454	0.2459
Weng	0.0845	0.0455	0.2680	0.0843	0.0443	0.2584

Référence : J. Salvi, X. Armangué, J. Batlle, "A comparative review of camera calibrating methods with accuray evaluation", *Pattern Recognition*, 35, pp. 1617-1635, 2002.

Sommaire

Introduction

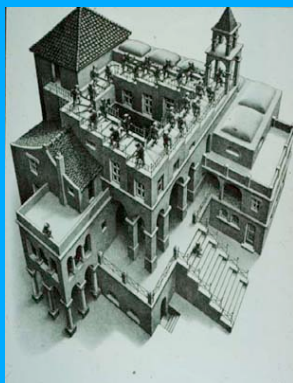
Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

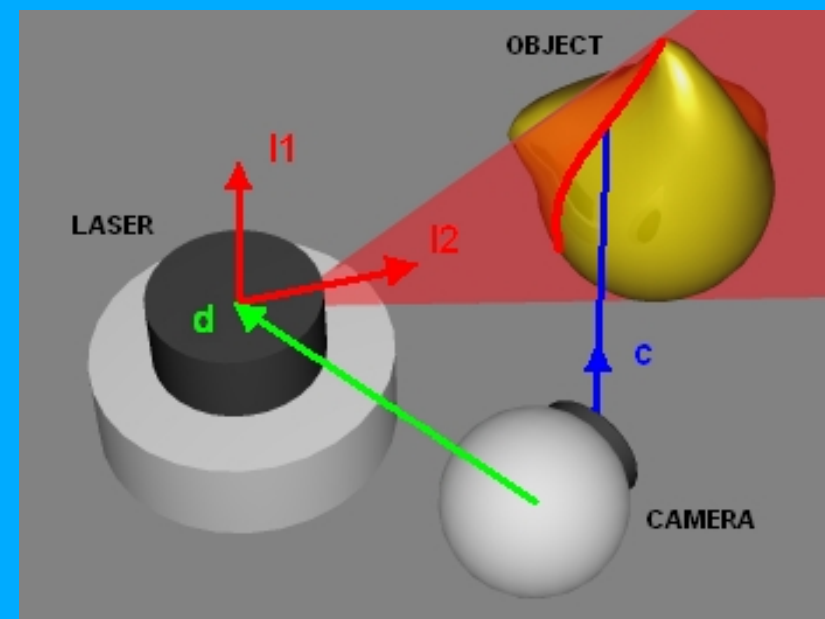
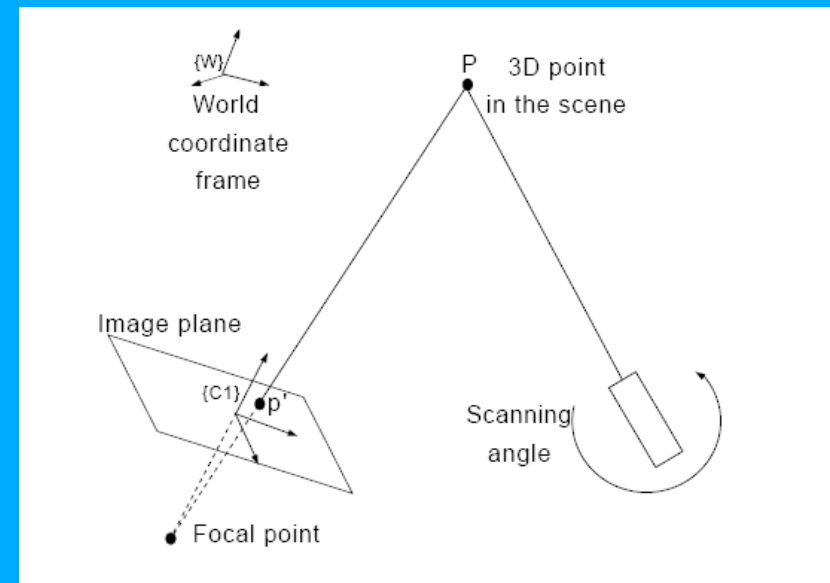
Conclusion



L'une des caméras est remplacée par une **source LASER**.

La source laser peut projeter un **point de surbrillance** (faisceau laser) ou un **trait lumineux** sur la surface des objets (plan laser).

Pour balayer la surface de l'objet : **rotation de la source laser** ou **translation de l'ensemble caméra-laser**.



Sommaire

Introduction

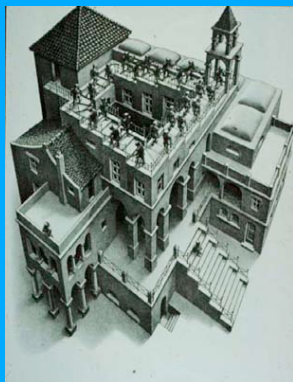
Séréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion



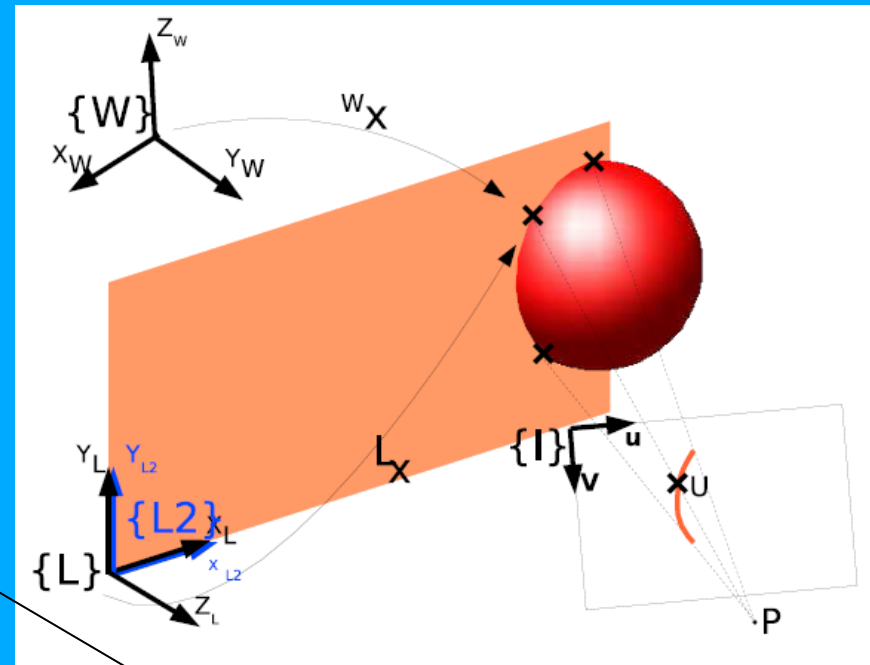
Point image (pixels)

Point 3D (mètres)

Position et
orientation du plan
laser dans l'espace

Transformation 2D/
3D

Transformation plan
image/ plan laser



$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} \xrightarrow{=^W T_L \cdot ^L T_{L2} \cdot ^{L2} H_I} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = ^W T_L \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = ^W T_I \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

Sommaire

Introduction

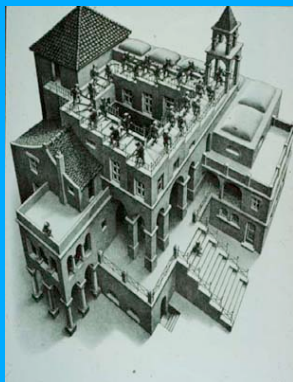
Séréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

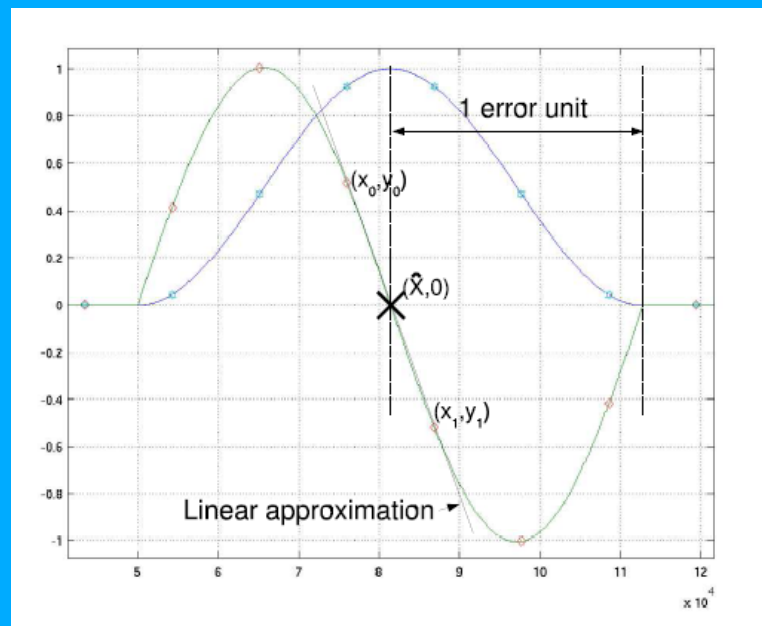
Applications

Conclusion



Quand on projette un **faisceau laser**, pas de problème de **mise en correspondance** (il suffit de détecter la position du point rouge dans l'image !!! -> on s'aide souvent d'un **filtre** que l'on place devant l'objectif de la caméra).

Quand on projette un trait laser, pas de problème non plus : il suffit de détecter **la courbe rouge** dans l'image.



Sommaire

Introduction

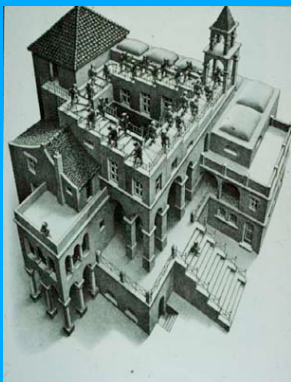
Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

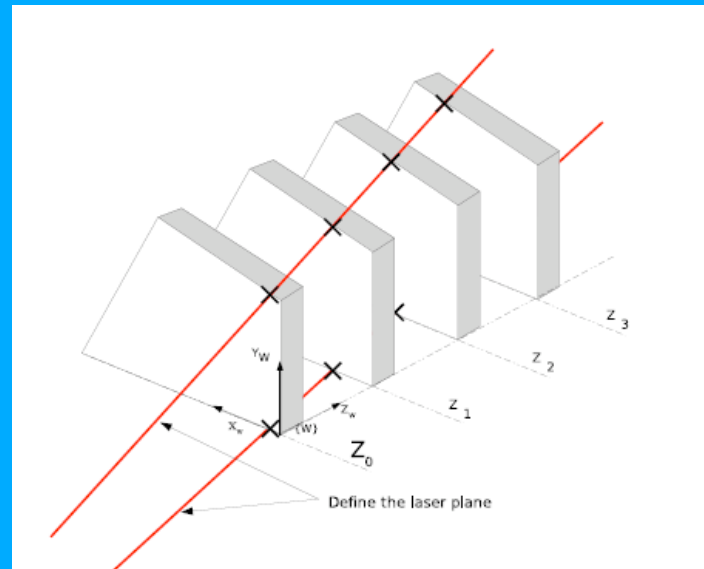
Conclusion



Comme pour un système stéréoscopique, il s'agit d'associer des points 2D et des points 3D pour estimer la matrice de transformation.

Difficulté : connaître les coordonnées 3D des points illuminés par le laser !!

Une méthode : le quadrangle complet



Référence : J. Forest, "New methods for triangulation-based shape acquisition using laser scanners", *Thèse de doctorat*, Université de Gérone, Espagne, mai 2004.

Sommaire

Introduction

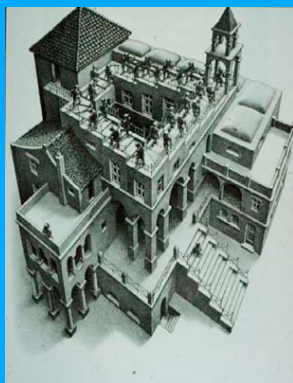
Séréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion



Résolution : dépend du pas de balayage du laser et de la résolution de la caméra (utilisation possible d'algorithmes de détection sous-pixel).

Précision :

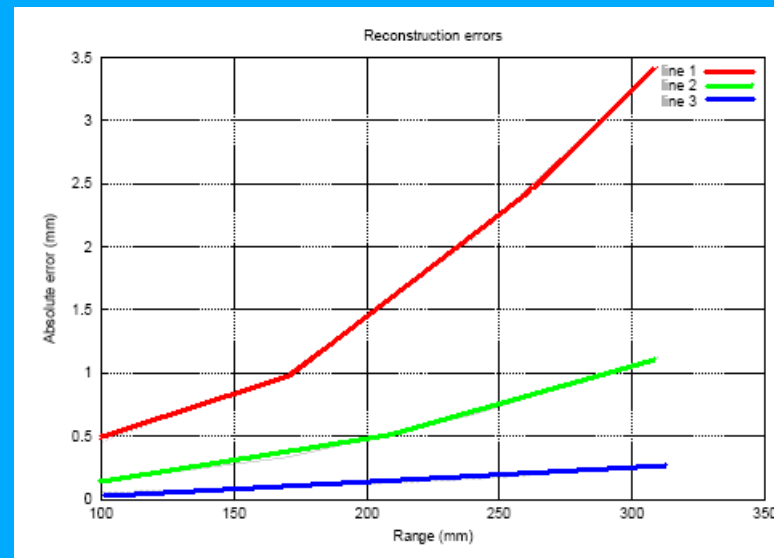


Table A.1: Performance of the Chen and Kak scanner.

Range (mm)	100	170	240	310
Image error (pix.)	6,8916	7,0088	7,0505	7,0395
X error (mm)	0,144	0,3342	0,6703	1,1239
Y error (mm)	0,0573	0,0963	0,1594	0,2651
Z error (mm)	0,4535	0,9967	2,0569	3,4345

Sommaire

Introduction

Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

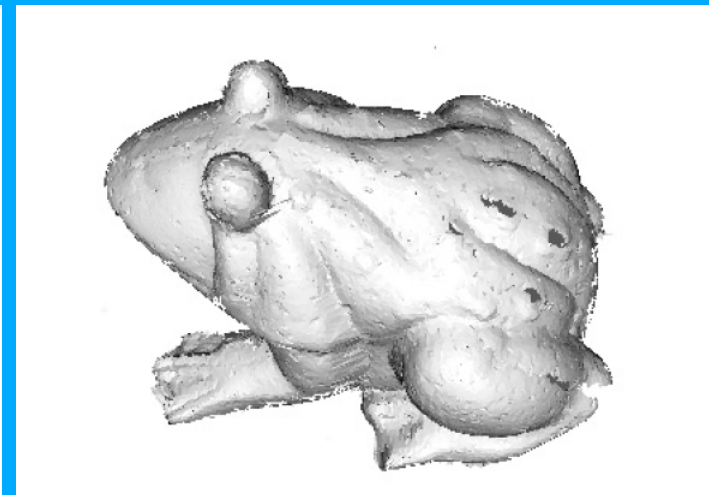
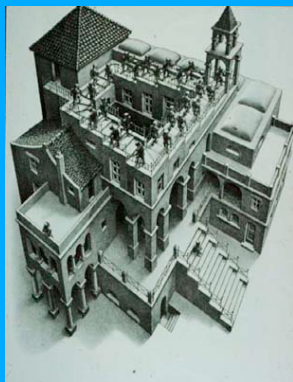
Applications

Conclusion



Caméra et filtres
RVB

Laser en rotation



Sommaire

Introduction

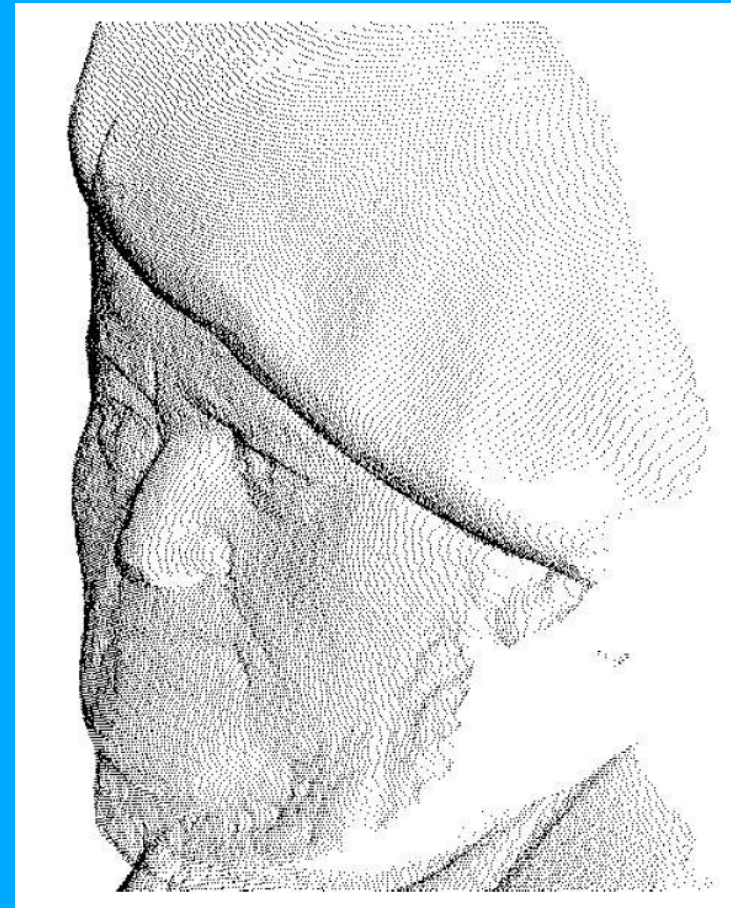
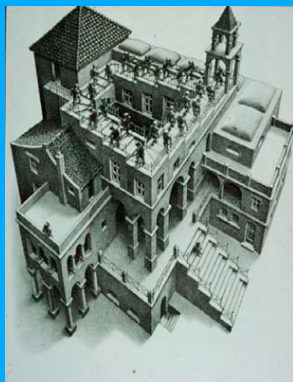
Séréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

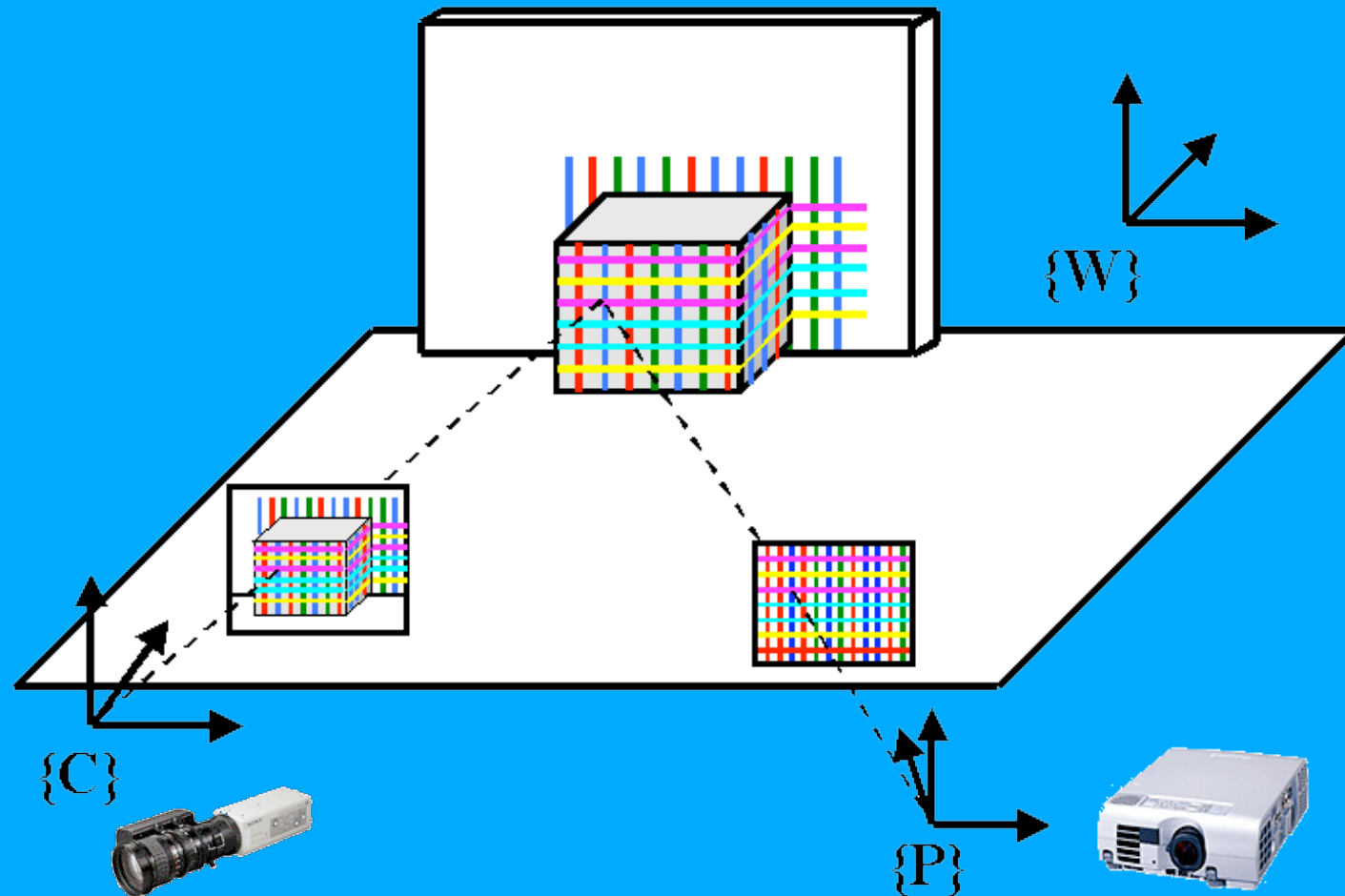
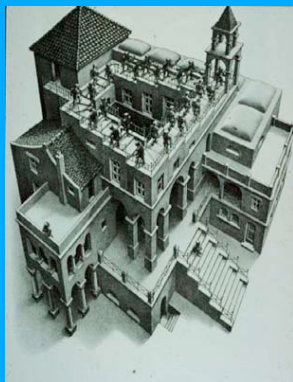
Applications

Conclusion



Sommaire

- Introduction
- Séréovision
- Scanner à triangulation laser
- Systèmes Projecteur-Caméra**
- Applications
- Conclusion



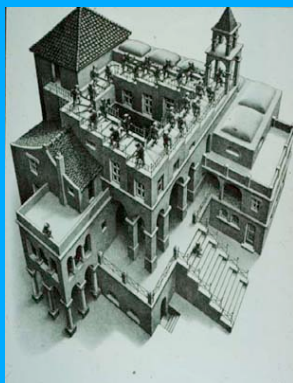
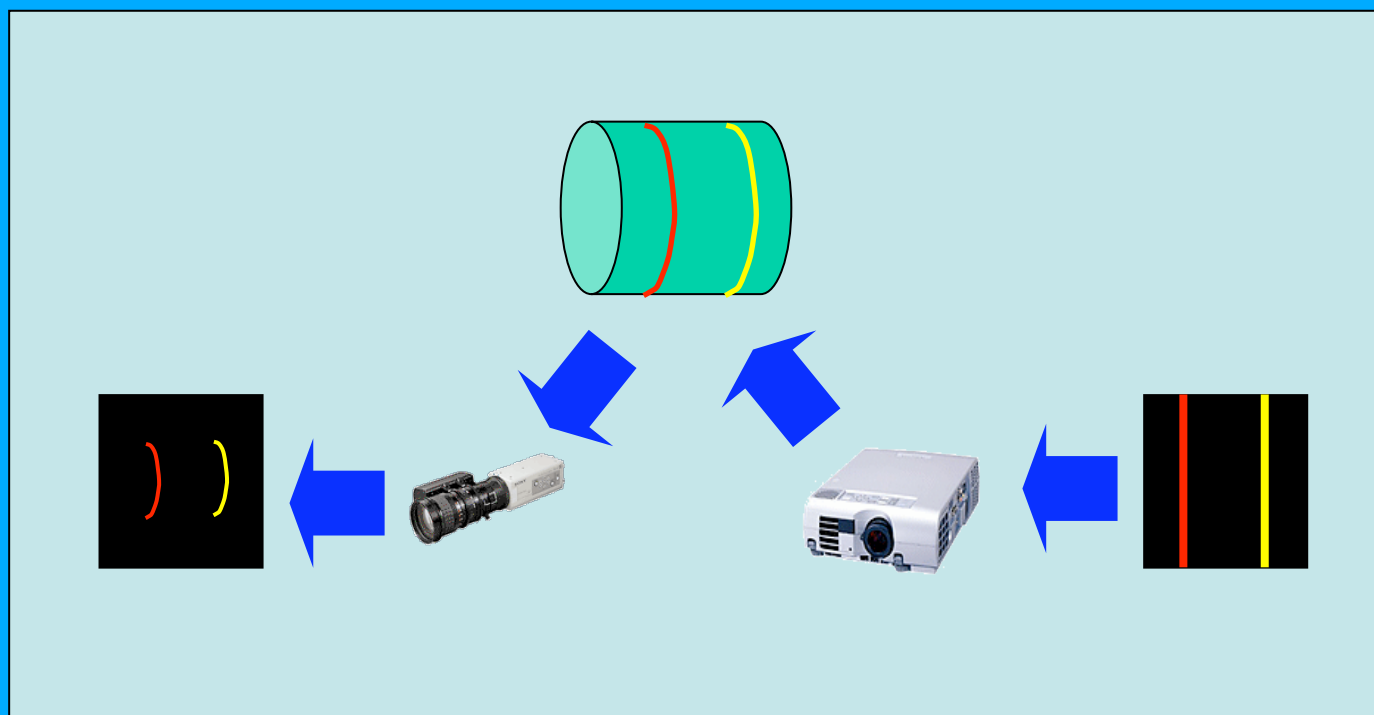
Cette fois, l'une des caméras est remplacée par un **vidéo- (ou retro-) projecteur**.

Un motif connu et régulier est projeté sur la surface des objets : **lumière structurée**.

Sommaire

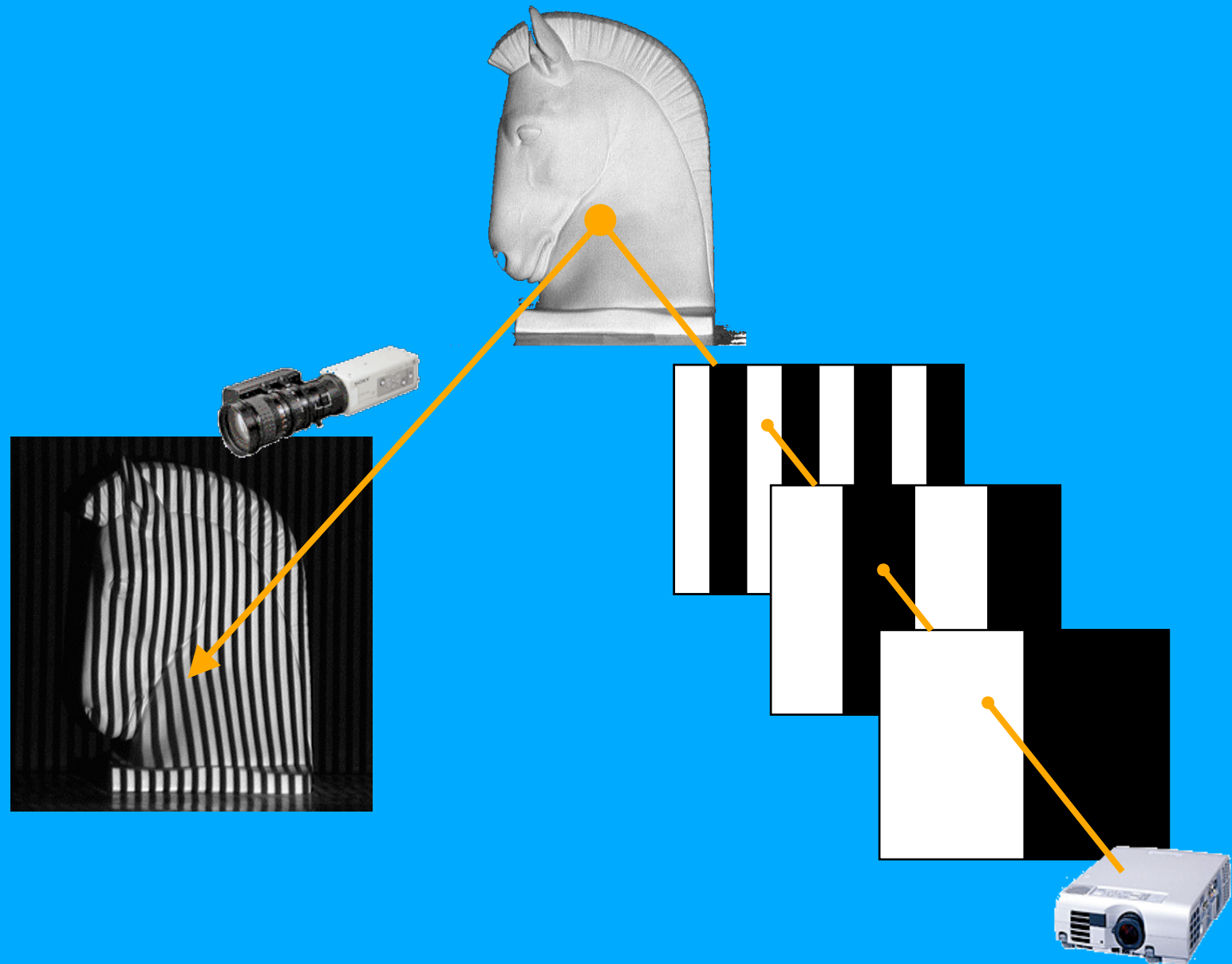
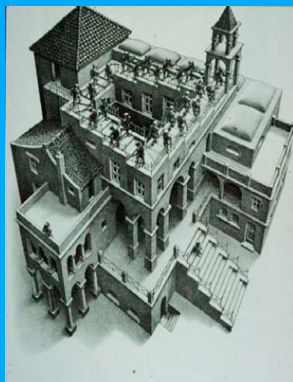
Introduction
Stéréovision
Scanner à
triangulation laser
Systèmes
Projecteur-Caméra
Applications
Conclusion

Pour faciliter la mise en correspondance, le motif projeté est **codé** (par la forme et/ou la couleur), de manière à pouvoir le reconnaître facilement dans l'image...



Sommaire

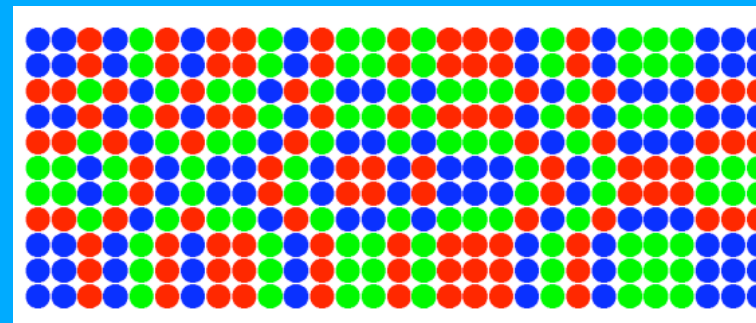
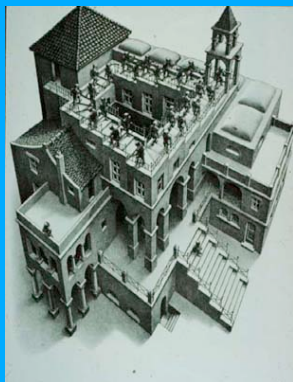
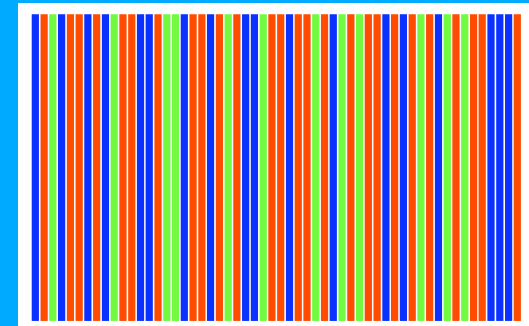
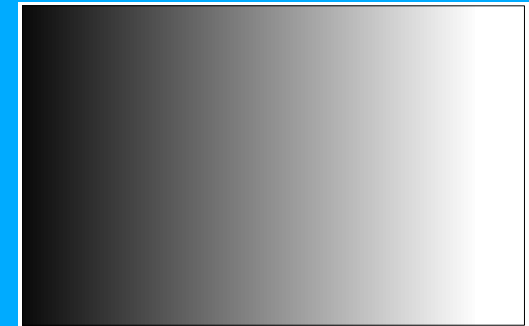
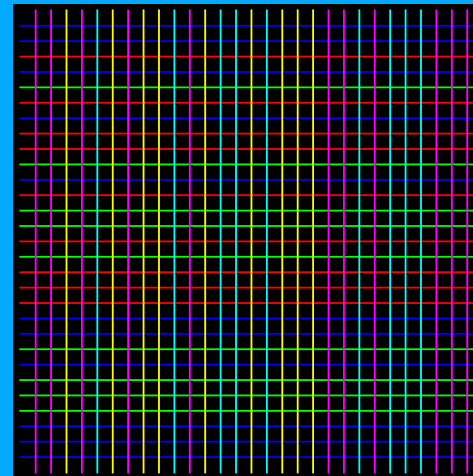
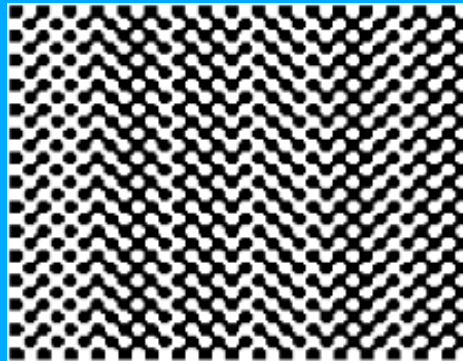
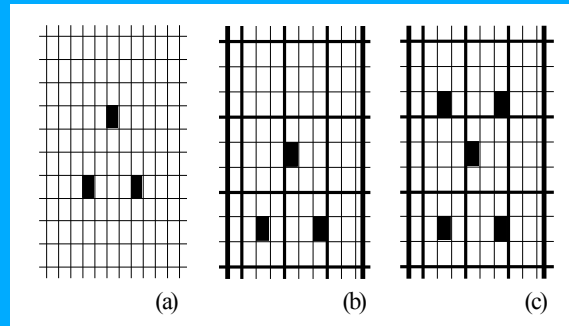
Introduction
Stéréovision
Scanner à
triangulation laser
**Systèmes
Projecteur-Caméra**
Applications
Conclusion



Différents codages

Sommaire

Introduction
Stéréovision
Scanner à
triangulation laser
Systèmes
Projecteur-Caméra
Applications
Conclusion



Sommaire

Introduction

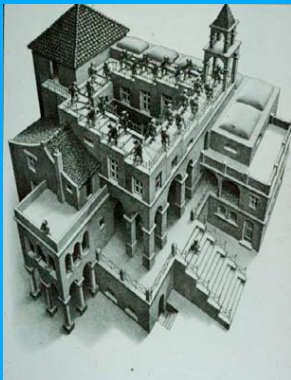
Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

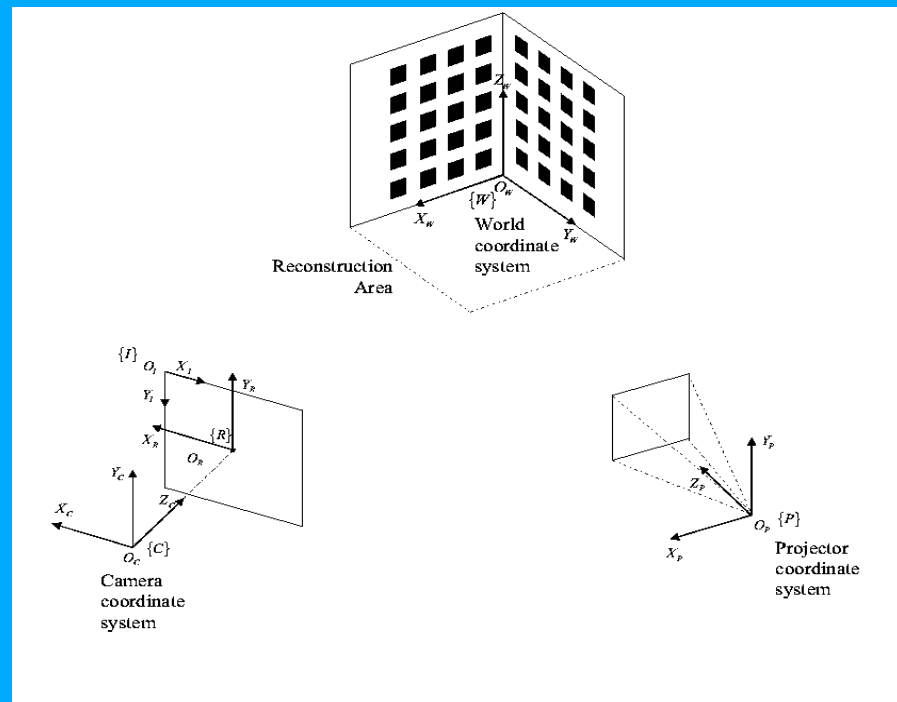
Conclusion



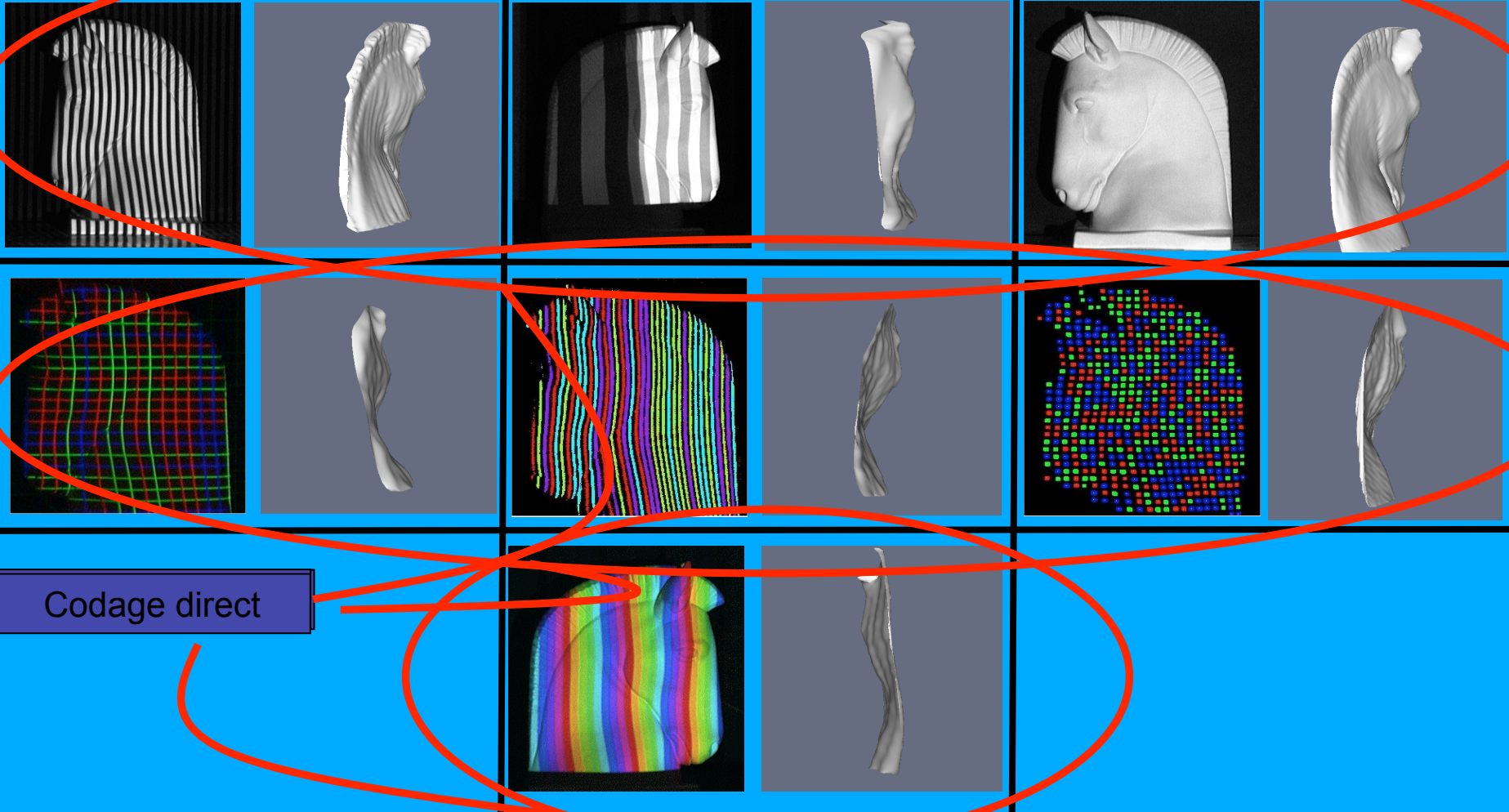
Résolution : dépend du motif projeté.

Précision : en général moins bonne pour celle des scanners à laser, mais meilleure que par stéréovision

Pour la calibration, le projecteur est considéré comme une caméra « inversée » :



Exemples



Codage direct

Sommaire

Introduction

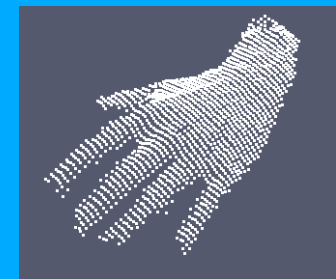
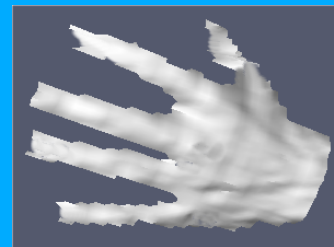
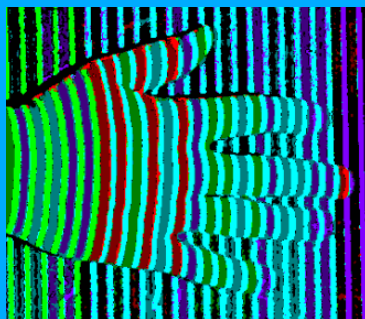
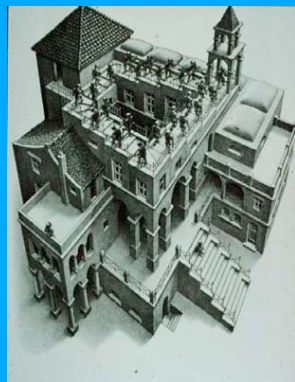
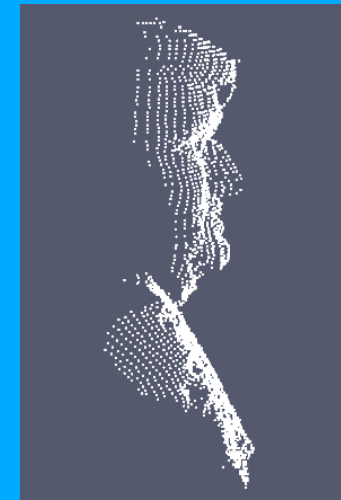
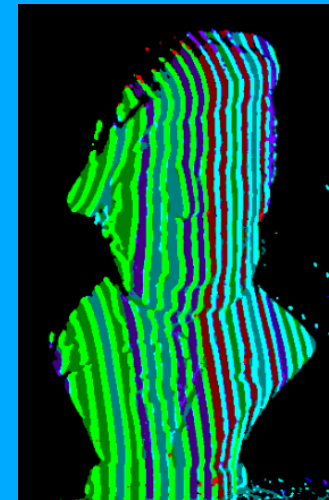
Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

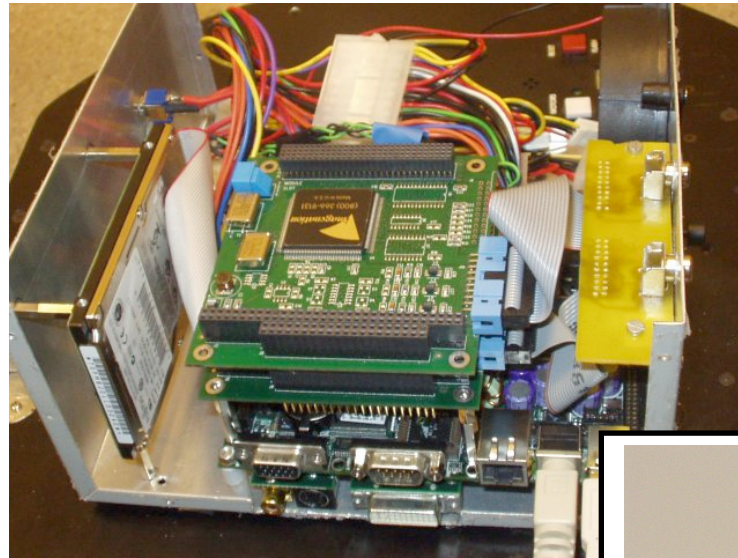
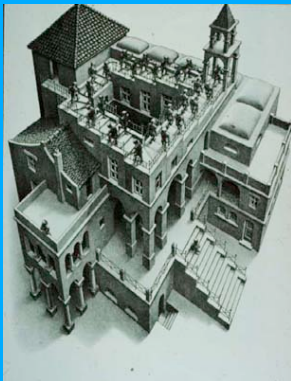
Applications

Conclusion

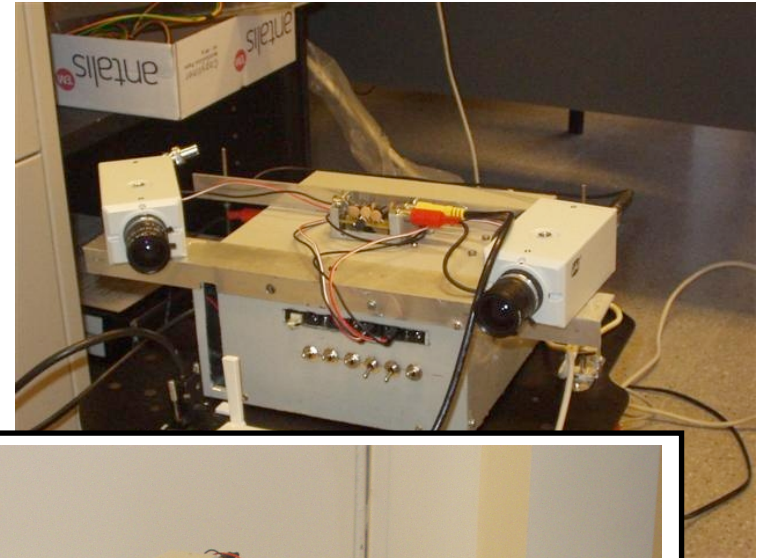


Sommaire

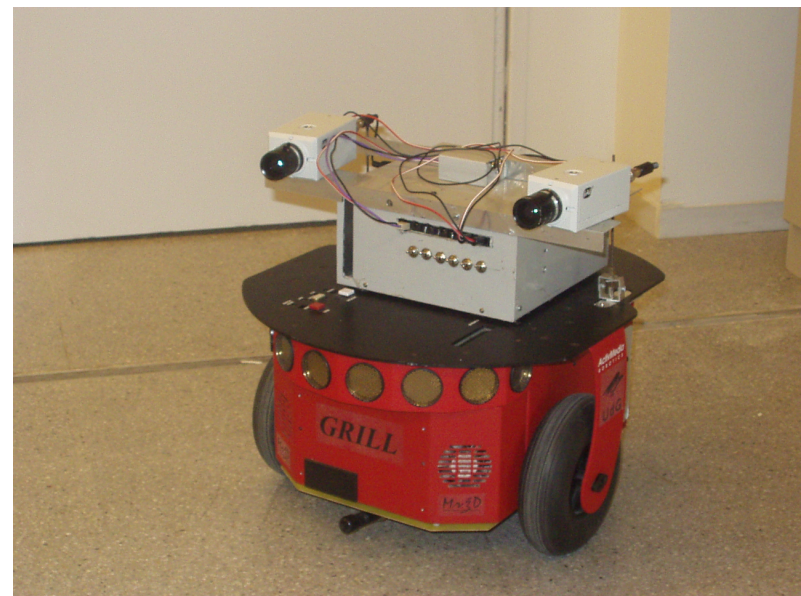
Introduction
Stéréovision
Scanner à
triangulation laser
Systèmes
Projecteur-Caméra
Applications
Conclusion



vue interne



Pioneer 2



GRILL, le robot mobile

Sommaire

Introduction

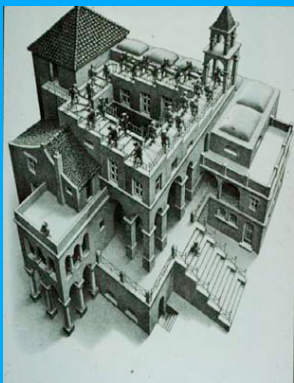
Stéréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion



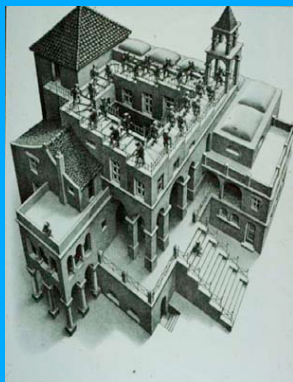
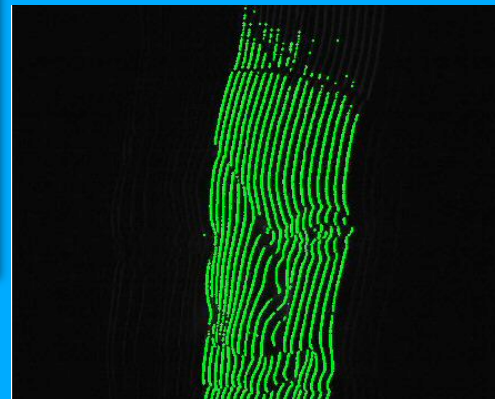
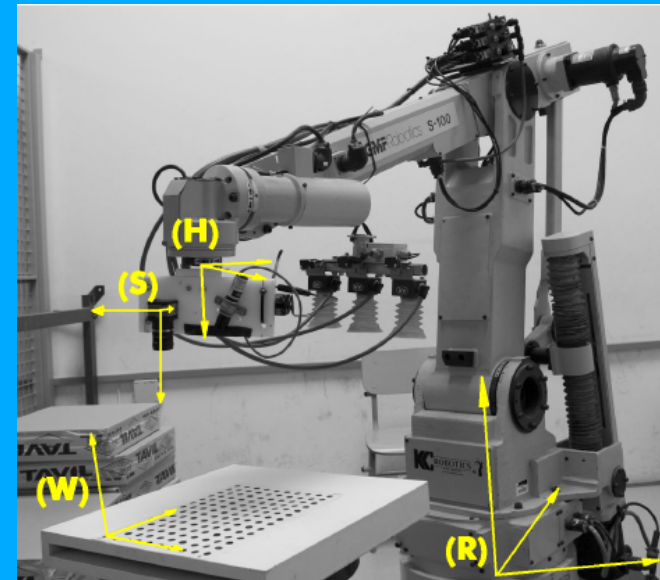
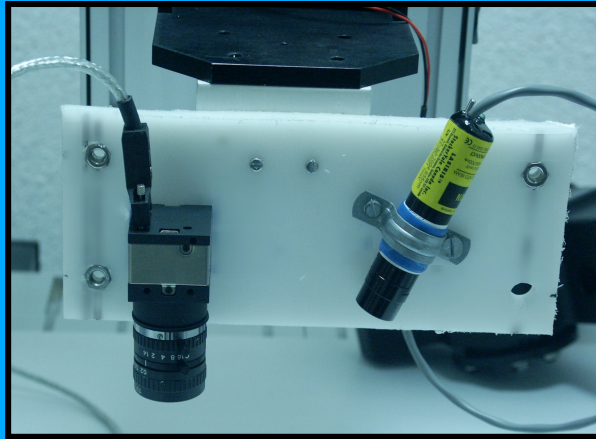
Input Stereo Image



Scanner Laser & Recalage 3D

Sommaire

Introduction
Stéréovision
Scanner à triangulation laser
Systèmes
Projecteur-Caméra
Applications
Conclusion



Sommaire

Introduction

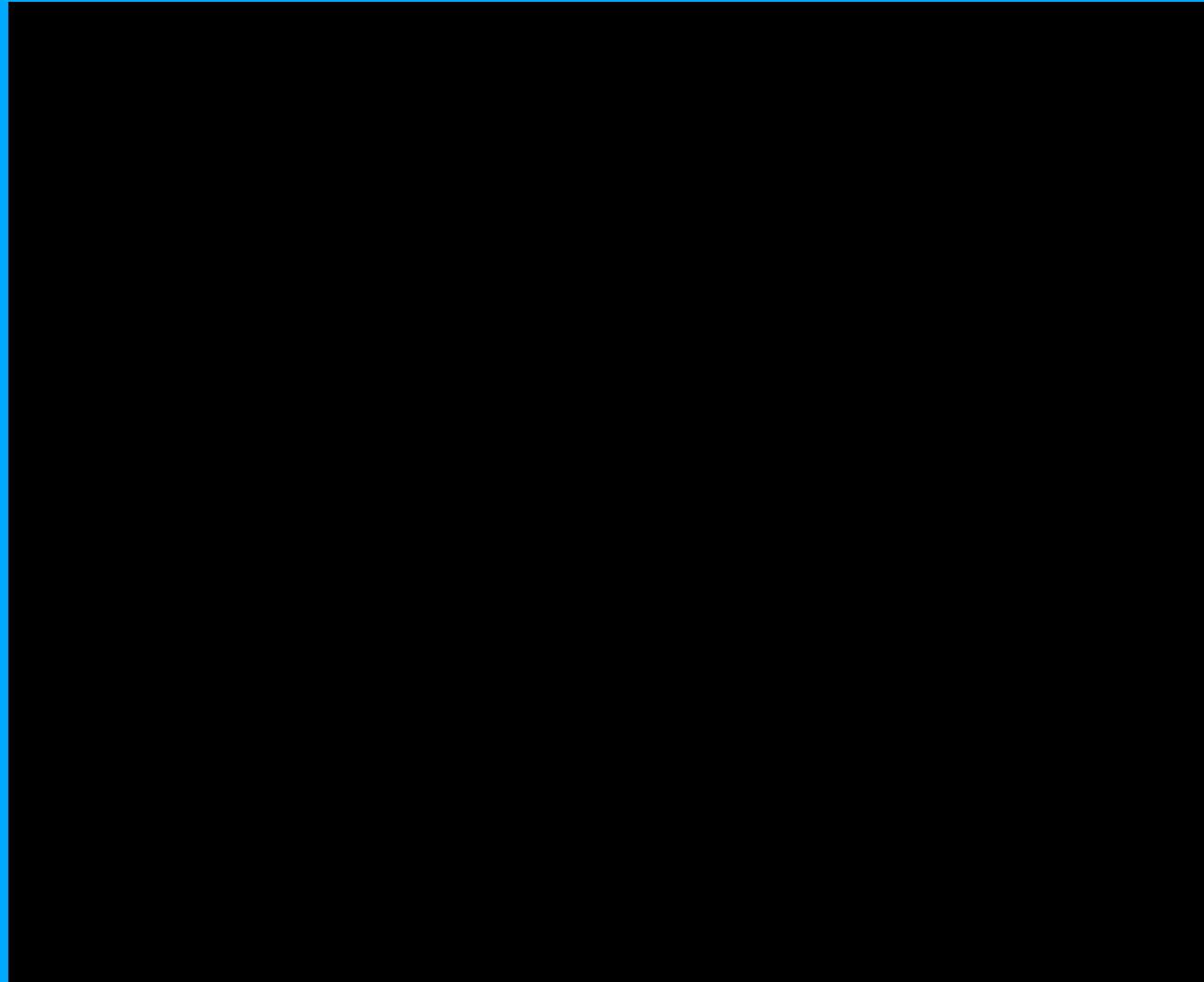
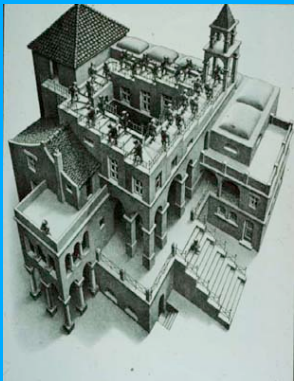
Séréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion



Sommaire

Introduction

Séréovision

Scanner à
triangulation laser

Systèmes
Projecteur-Caméra

Applications

Conclusion

Stéréovision

- Faible densité de points (reconstruction dense possible mais complexe et gourmande en temps de calcul), faible résolution
- Problème de la mise en correspondance et des traitements associés
- Applications à la robotique mobile, à la cartographie

Scanner à triangulation laser

- Reconstruction dense, haute résolution, grande précision
- Balayage laser mécanique : temps d'acquisition plus long qu'en stéréovision.
- Capteur intrusif
- Applications à la modélisation et à la mesure 3D

Systèmes Projecteur-Caméra

- Bon compromis entre les deux précédents capteurs
- Densité de points plus haute en général qu'en stéréovision, précision plus faible en général que les scanners laser

