



Gretsi

IG

*7ème école d'été de Peyresq  
en traitement du signal et des images*

*Peyresq, du 24 au 30 juin 2012*

Numérisation 3D :

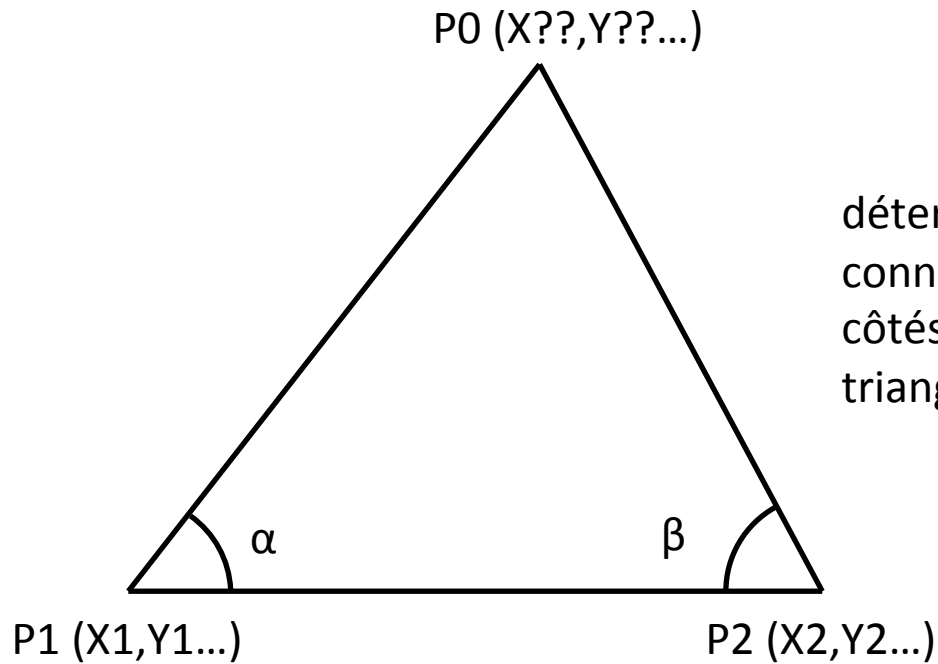
**Triangulation Active** et Techniques

Non Conventionnelles

## DEFINITION

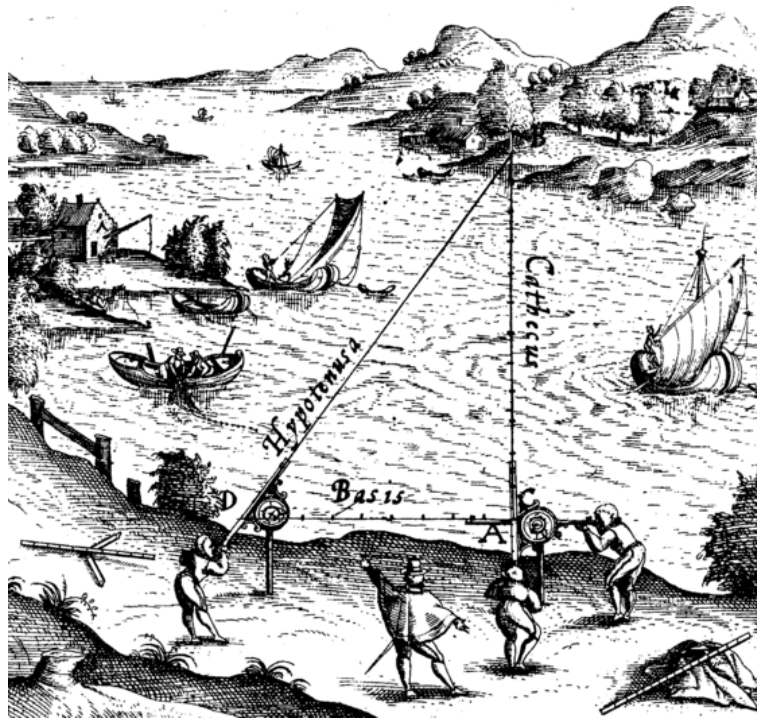
C'est le processus qui permet de déterminer une distance à partir de la connaissance de la longueur de l'un des côtés d'un triangle, et deux angles de ce triangle.

## DEFINITION



C'est le processus qui permet de déterminer une distance à partir de la connaissance de la longueur de l'un des côtés d'un triangle, et deux angles de ce triangle.

QUELQUES EXEMPLES APPLICATIFS



cartographie

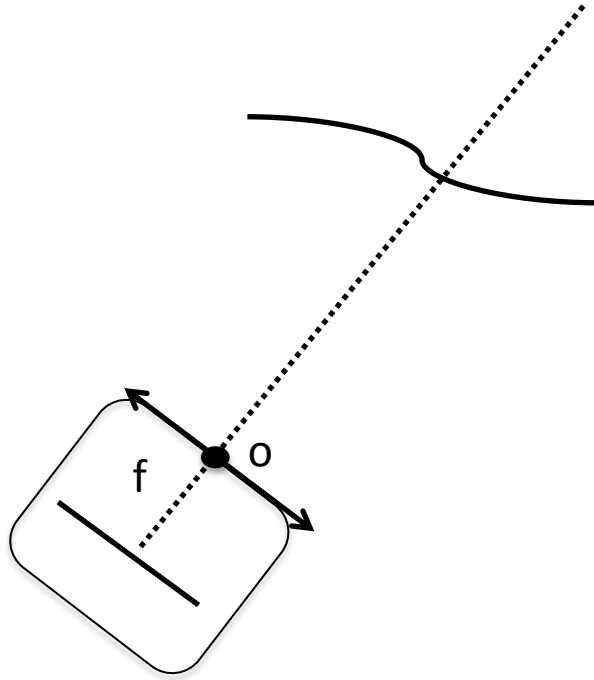


navigation côtière

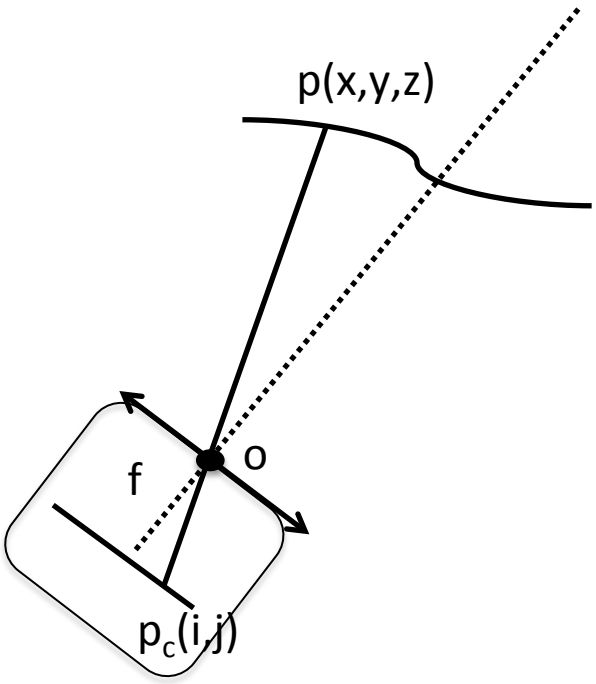


téléviseur optique

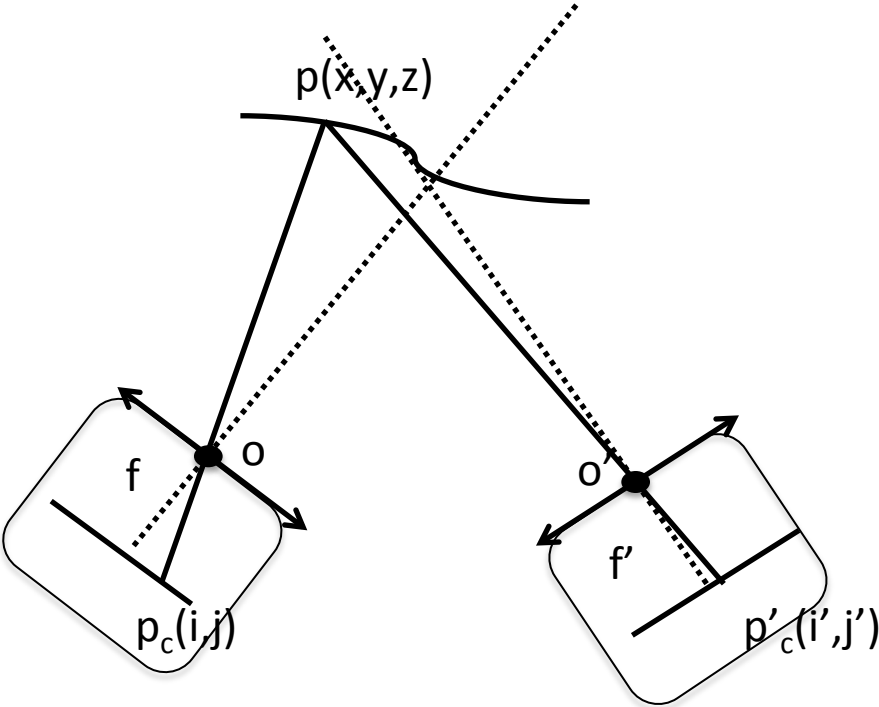
TRIANGULATION PAR IMAGERIE



TRIANGULATION PAR IMAGERIE

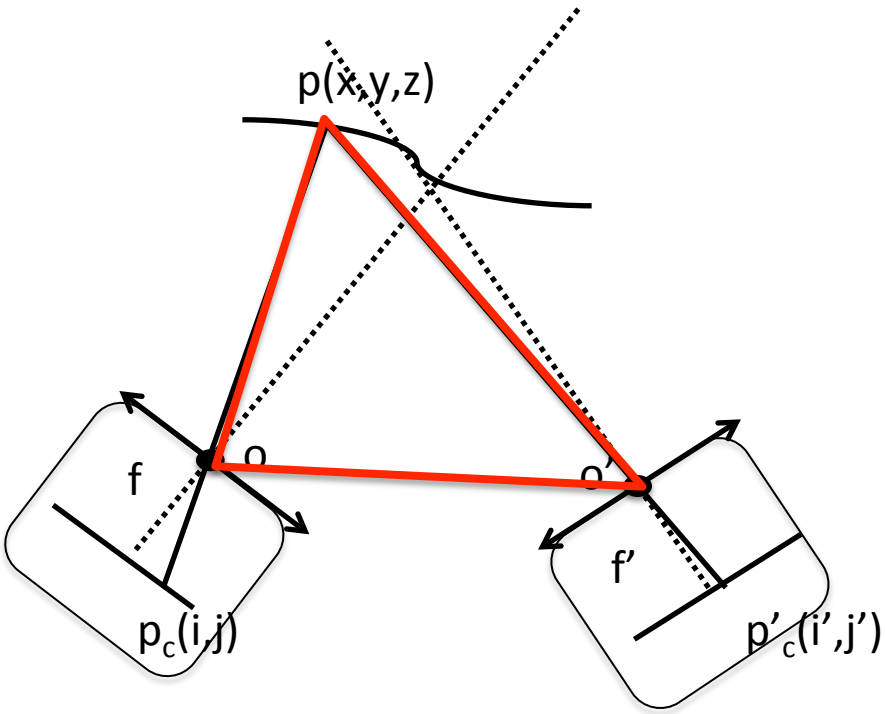


TRIANGULATION PAR IMAGERIE



Introduction

TRIANGULATION PAR IMAGERIE

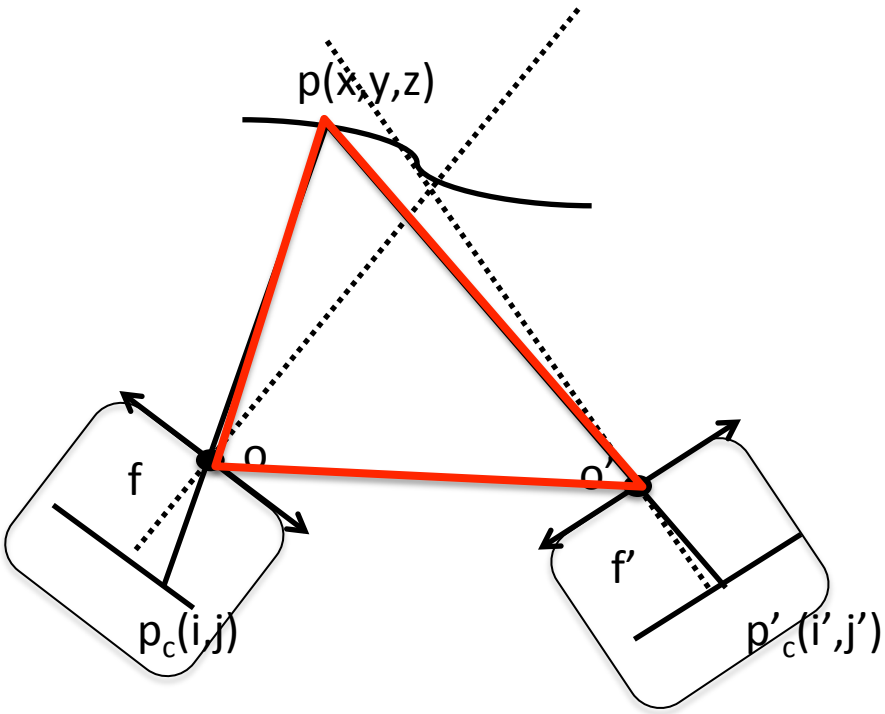


$(x,y,z)$  peuvent être calculés si :

- l'on connaît la position de  $O$  et  $O'$
- les angles du triangle en  $O$  et  $O'$  que l'on détermine connaissant :
  - $i,j,i',j'$
  - $f$  et  $f'$
  - l'angle entre les 2 axes optiques



TRIANGULATION PAR IMAGERIE



$(x,y,z)$  peuvent être calculés si :

- l'on connaît la position de  $O$  et  $O'$
- les angles du triangle en  $O$  et  $O'$  que l'on détermine connaissant :
  - $i,j,i',j'$
  - $f$  et  $f'$
  - l'angle entre les 2 axes optiques

Exemple d'application :

- photogramétrie

## EXEMPLE DE PHOTOGRAMMÉTRIE : PIXDIM

[www.pixdim.com](http://www.pixdim.com)



ETAPE 1 : MARQUAGE DE LA SCENE

# LA TRIANGULATION

EXEMPLE DE PHOTOGRAMÉTRIE : PIXDIM

[www.pixdim.com](http://www.pixdim.com)



ETAPE 2 : PRISE D'IMAGES (PLUSIEURS POINTS DE VUE)

SCANNING 3D

EXEMPLE DE PHOTOGRAMÉTRIE : PIXDIM

www.pixdim.com

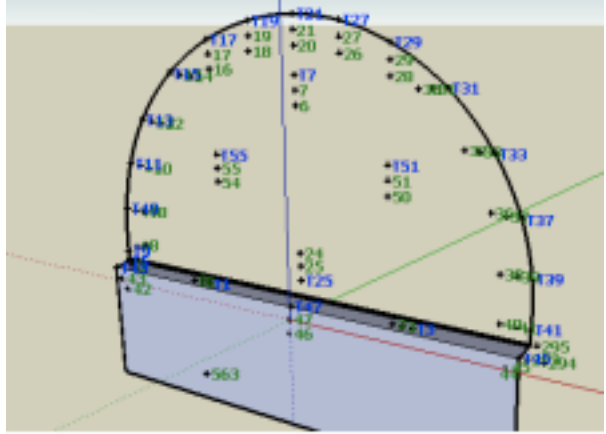
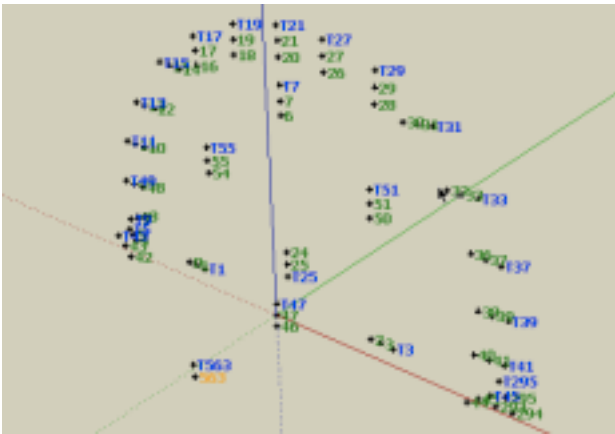
ETAPE 3 : TRIANGULATION

Détermination des i,j,..... dans chaque image

Calcul de pose

Triangulation

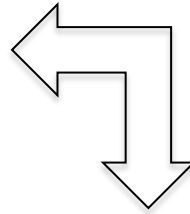
Résultat très intéressant si la scène présente des points caractéristiques remarquables (ici des marqueurs) !



ET SI IL N'Y A PAS DE POINT CARACTERISTIQUE?



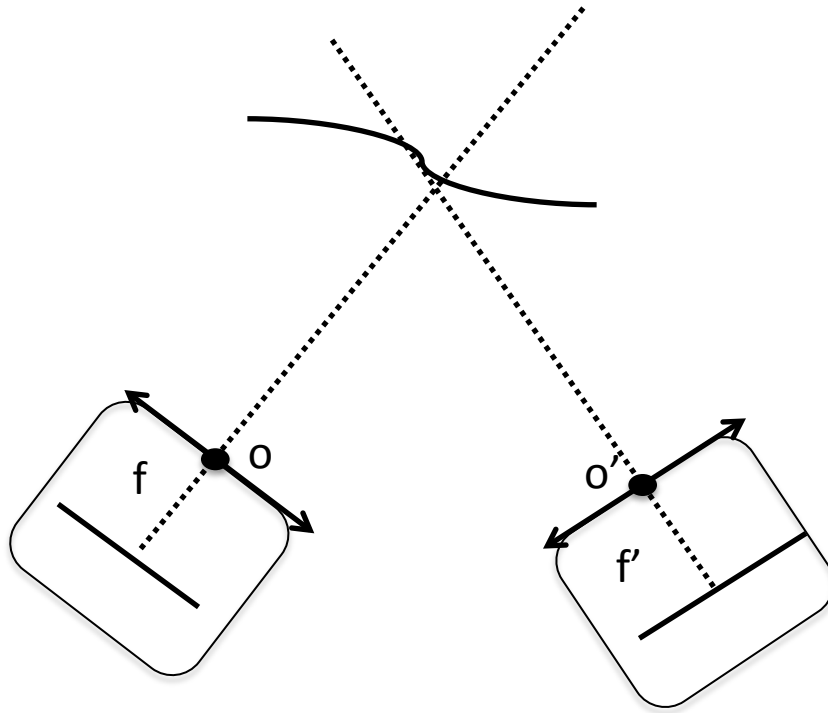
Correspondance?



Idée :  
Remplacer l'une des deux  
caméras par une source  
lumineuse type laser ou  
projecteur

On parle alors de :  
TRIANGULATION ACTIVE

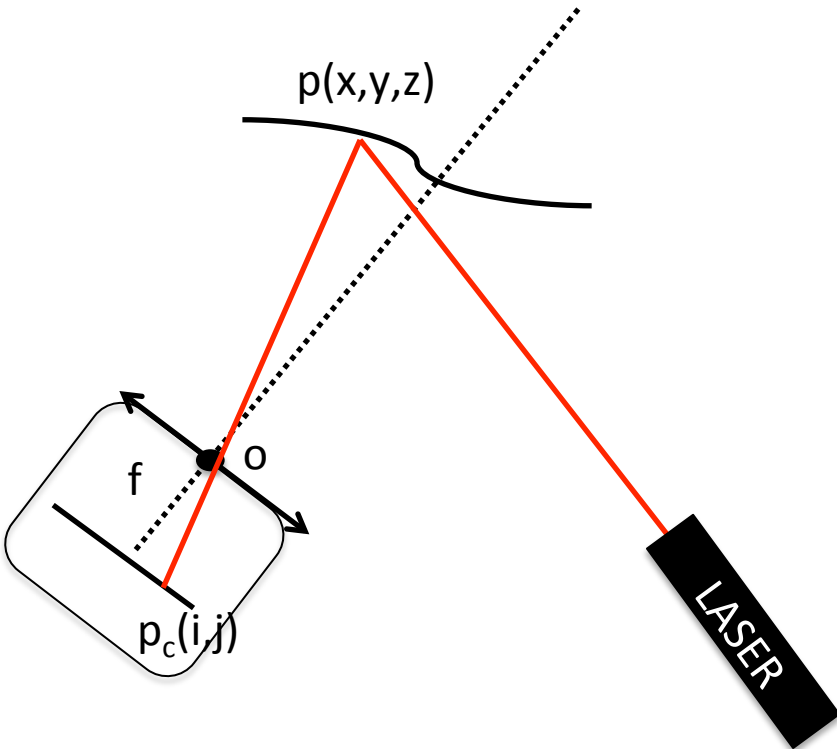
## PRINCIPE



Idée :  
Remplacer l'une des deux  
caméras par une source  
lumineuse type laser ou  
projecteur

On parle alors de :  
TRIANGULATION ACTIVE

PRINCIPE



Idée :  
Remplacer l'une des deux caméras par une source lumineuse type laser ou projecteur

On parle alors de :  
TRIANGULATION ACTIVE

PRINCIPE

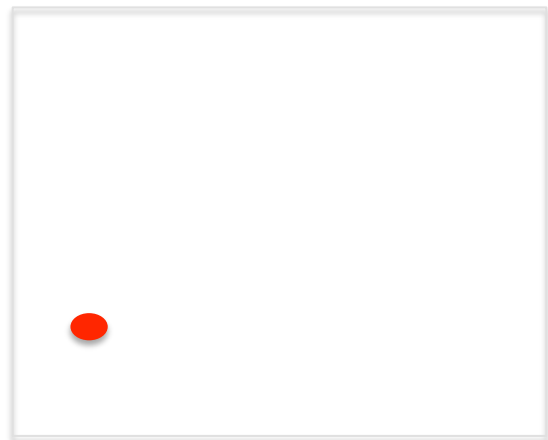
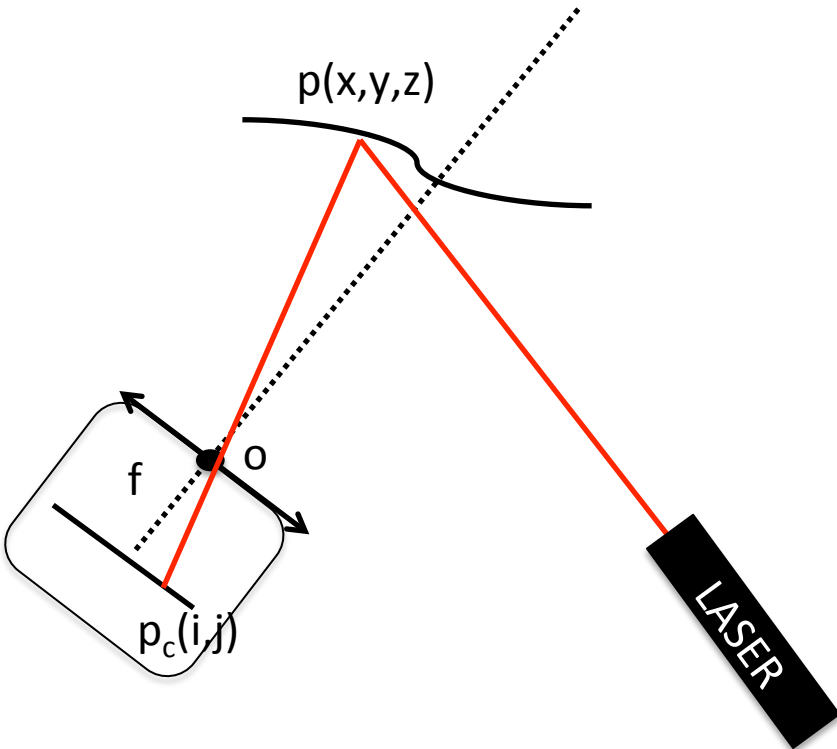


image restituée par la caméra

On parle alors de :  
TRIANGULATION ACTIVE



PRINCIPE

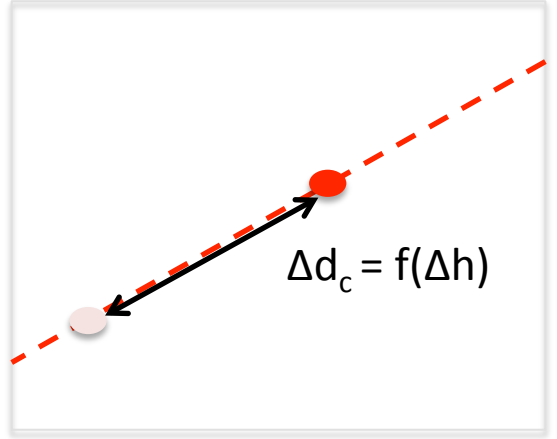
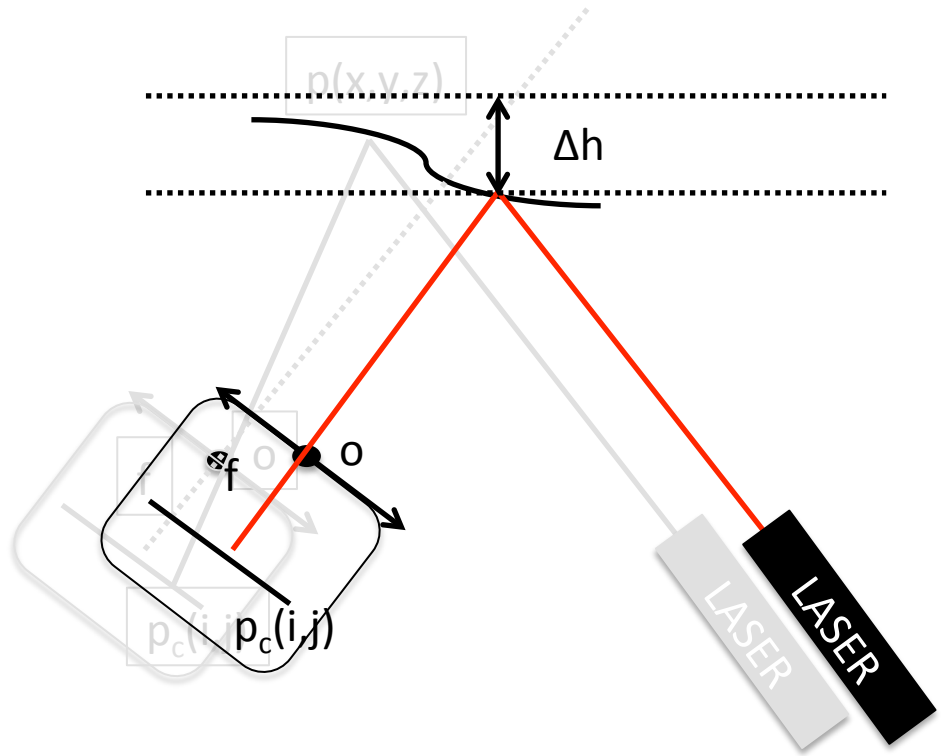


image restituée par la caméra

On parle alors de : TRIANGULATION ACTIVE

COMMENT DETERMINER LA FONCTION  $f$  ?

PAR UN ETALONNAGE PRÉALABLE. On parle aussi de calibrage ou calibration

On balaye la surface : c'est du SCANNING

PRINCIPE

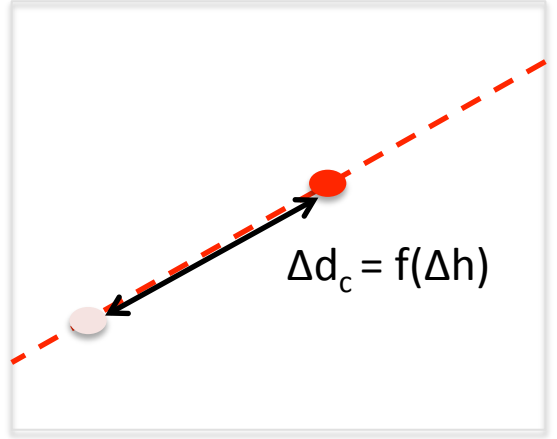
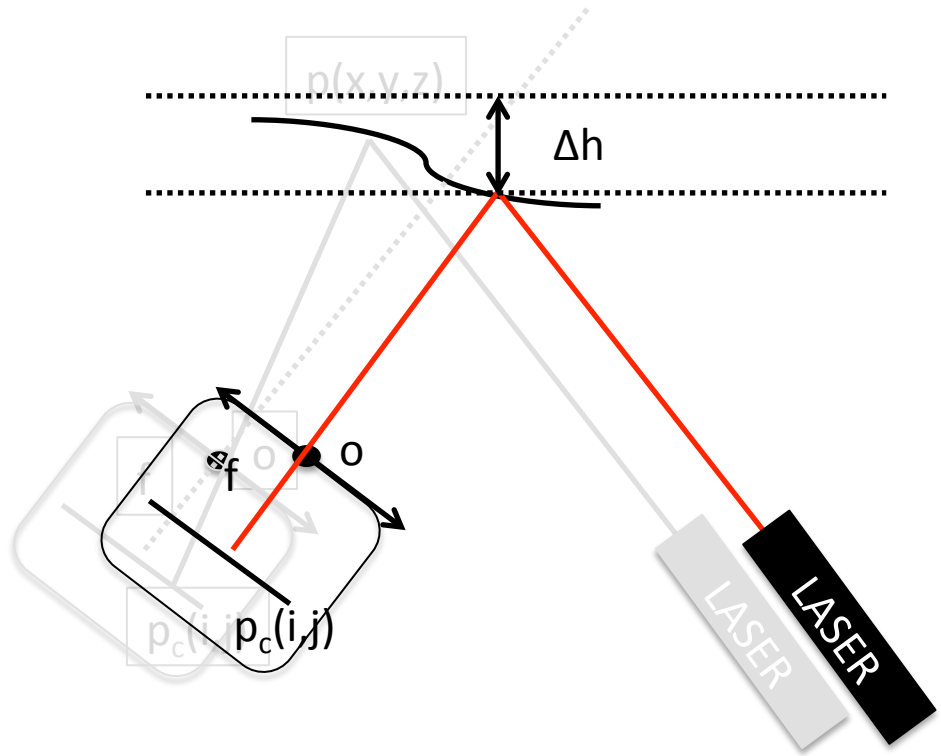


image restituée par la caméra

**Définition :**

Calibrer c'est déterminer la relation (la transformation) qui permet de passer des mesures dans l'image (en pixel) à des dimensions réelles

COMMENT DETERMINER LA FONCTION  $f$  ?  
 PAR UN ETALONNAGE PRÉALABLE. On parle aussi de  
 calibrage ou calibration

CALIBRAGE

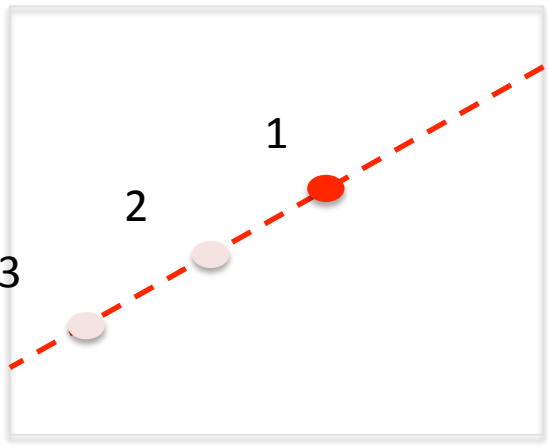
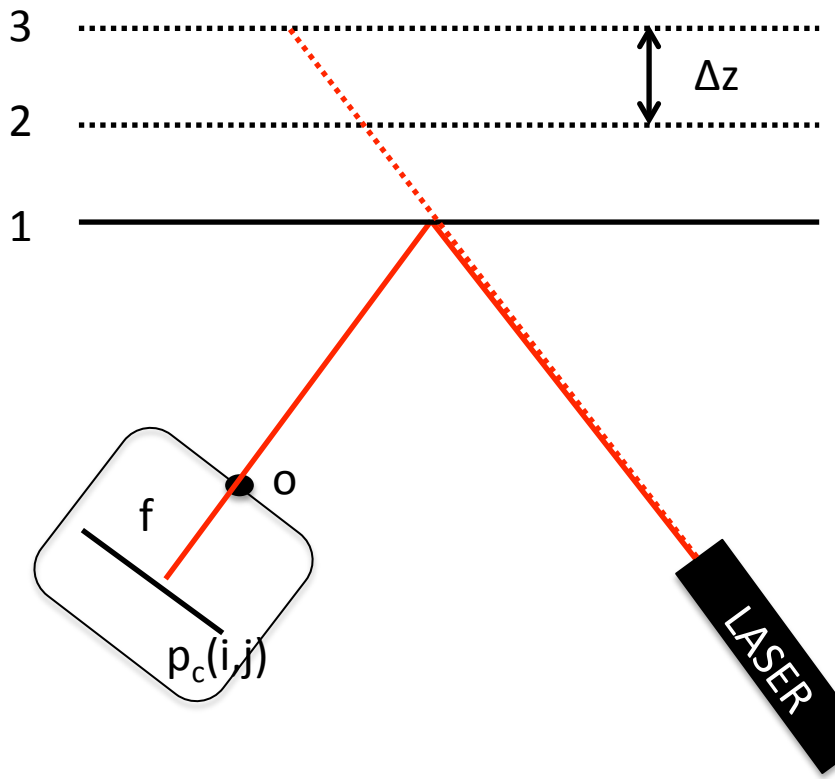
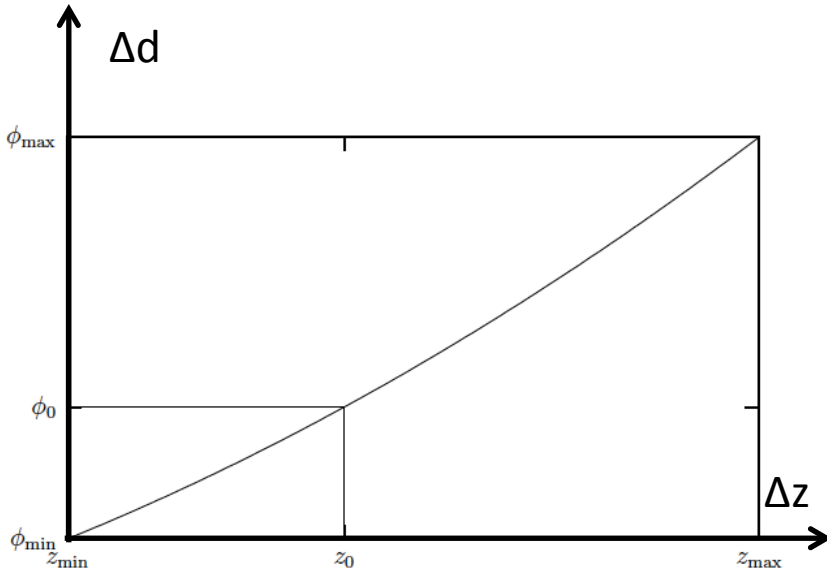


image restituée par la caméra



CALIBRAGE

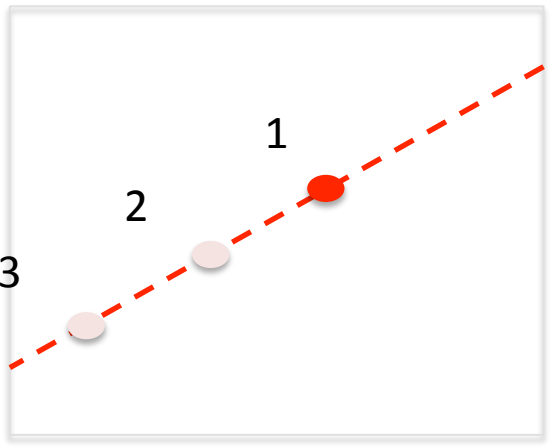
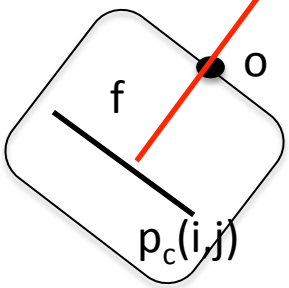
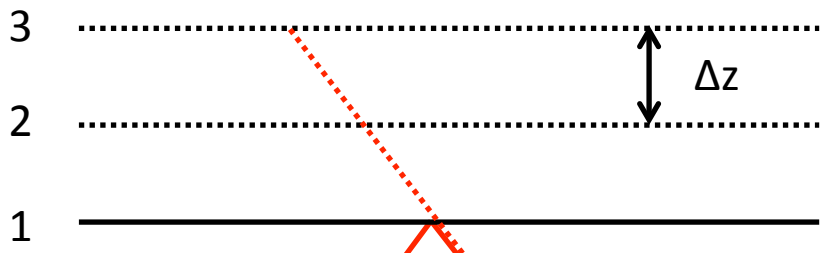
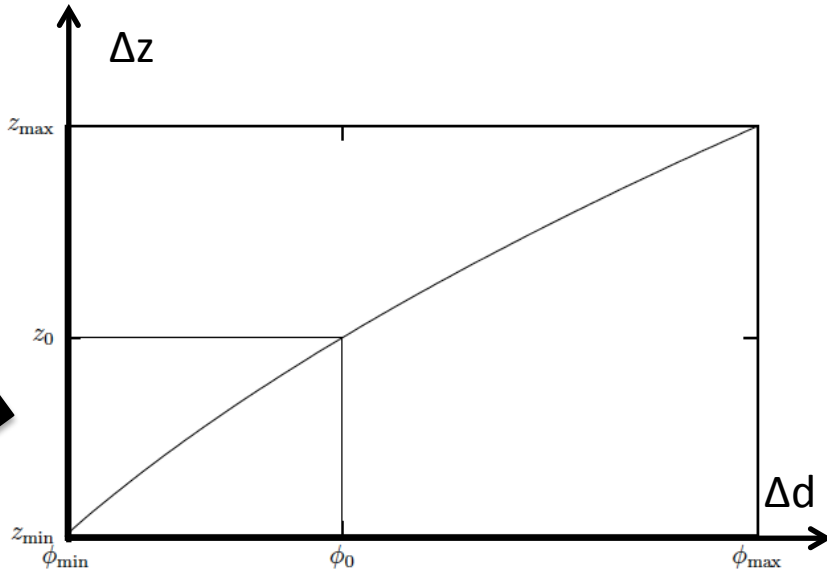


image restituée par la caméra



CALIBRAGE

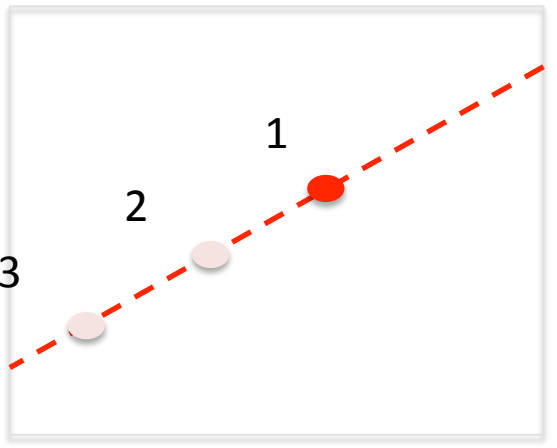
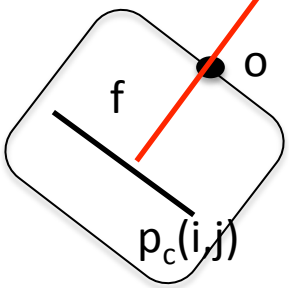
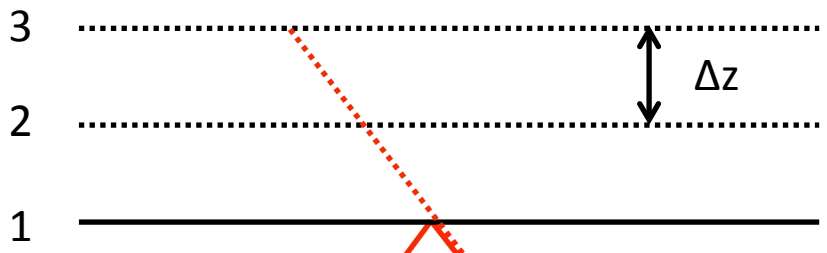
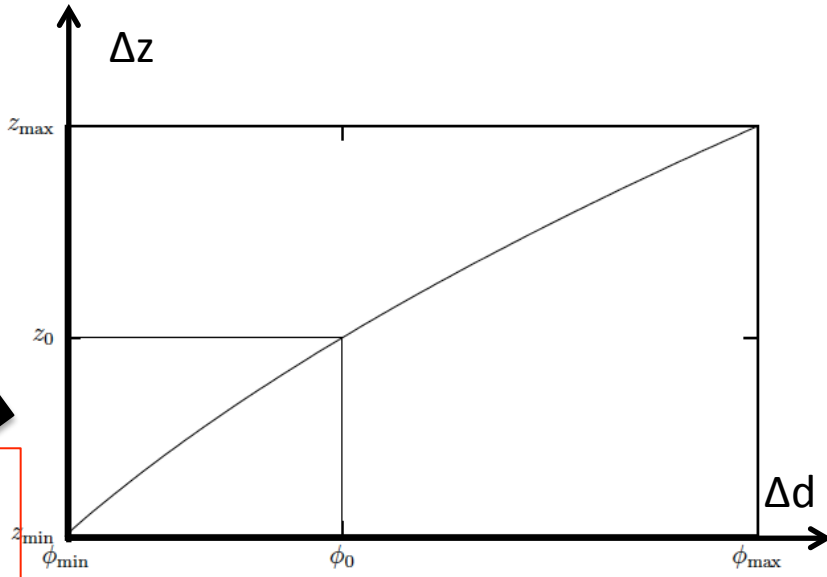


image restituée par la caméra

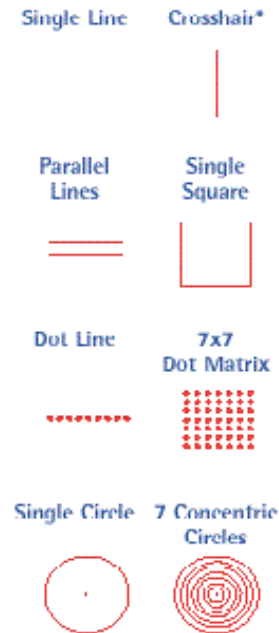


Ce type de calibrage est appelé  
 « étalonnage longitudinal »

## MOTIFS 2D

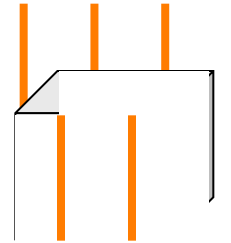
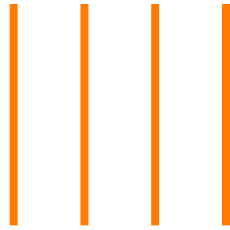
Inconvénient du pointeur laser :  
nécessite un déplacement mécanique et un nombre d'images important

Solution :  
projeter un motif 2D



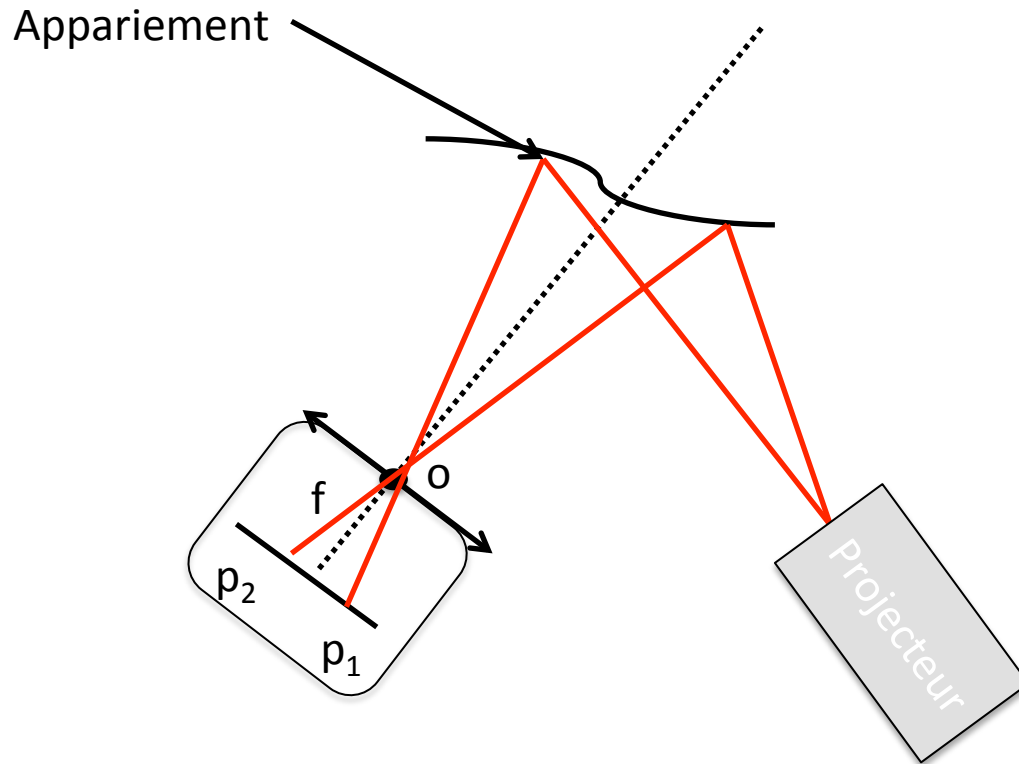
MOTIFS 2D

**Problème : mise en correspondance entre l' image projetée et l' image acquise**



MOTIFS 2D

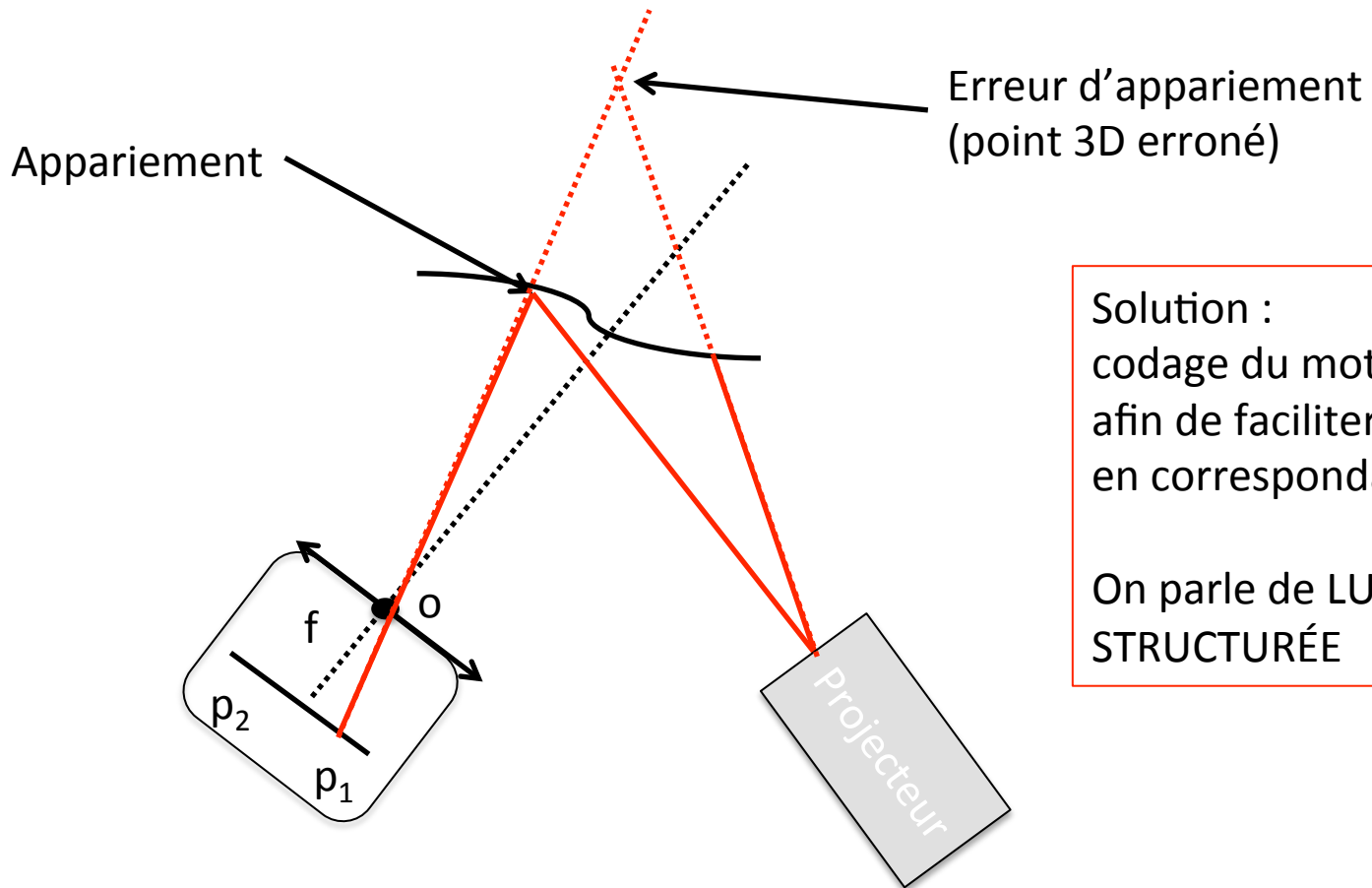
**Problème : mise en correspondance entre l' image projetée et l' image acquise**





MOTIFS 2D

Problème : mise en correspondance entre l' image projetée et l' image acquise



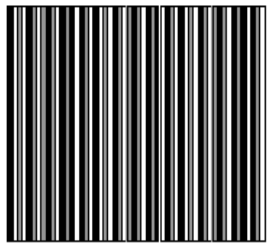
Solution :  
codage du motif  
afin de faciliter la mise  
en correspondance

On parle de LUMIÈRE  
STRUCTURÉE

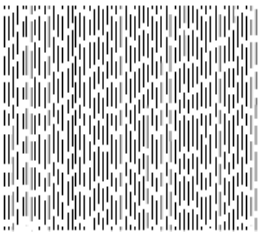
LUMIERE STRUCTUREE



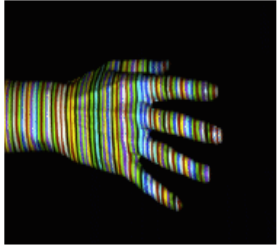
Molinier et al.: motif pseudo aléatoire



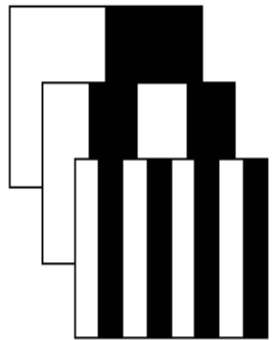
Durdle et al.: motif périodique



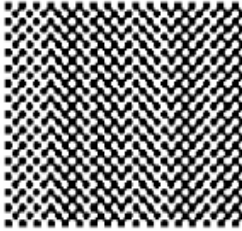
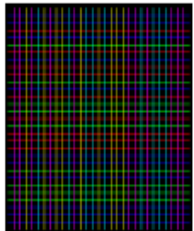
Maruyama and Abe:  
structure  
complexe basée sur des  
fentes  
contenant des coupes  
placées  
aléatoirement



Zhang et al.: 125 fentes  
encodées sur 8 couleurs avec  
une fenêtre de 3 fentes



Posdamer & aL;



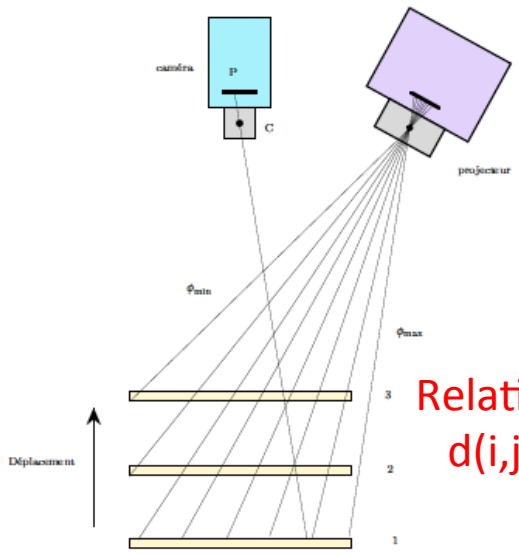
PREMIÈRE APPROCHE

Ce que l'on cherche : mesurer la relation qui existe entre le déphasage mesuré au niveau d'un pixel et les coordonnées du point 3D considéré

Pour chaque pixel (i,j) de l'image caméra on cherche la relation entre :  $d(i,j)$  et  $x(i,j)$   $y(i,j)$   $z(i,j)$

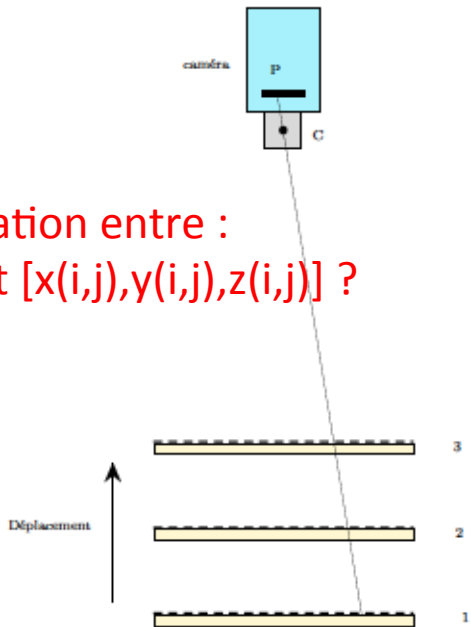
ETALONAGE LONGITUDINAL

ETALONAGE TRANSVERSAL



Relation entre :  $d(i,j)$  et  $z(i,j)$

Relation entre :  $[i,j,z(i,j)]$  et  $[x(i,j),y(i,j),z(i,j)]$  ?



## UN AUTRE POINT DE VUE

Une caméra c'est : la projection d'une scène 3D sur un plan image (2D)

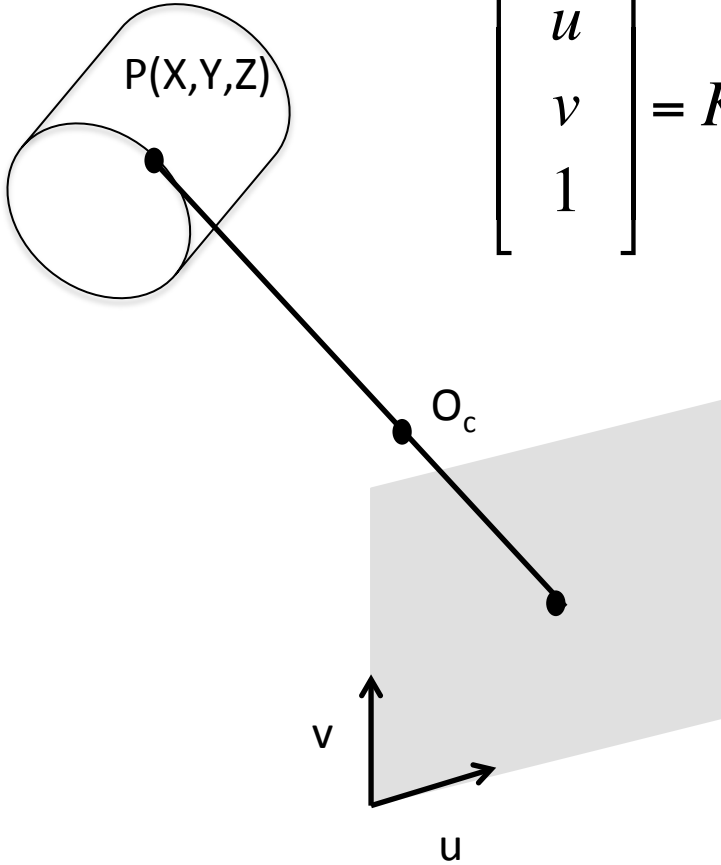
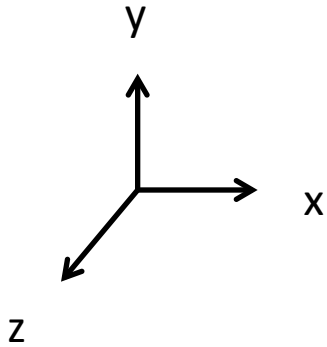
Un projecteur c'est : la projection sur une scène 3D d'un plan image (2D)

Un projecteur est très similaire à une caméra.

Idée : considérer le projecteur comme une caméra inversée

On se ramène alors à une problématique de stereo

UN AUTRE POINT DE VUE

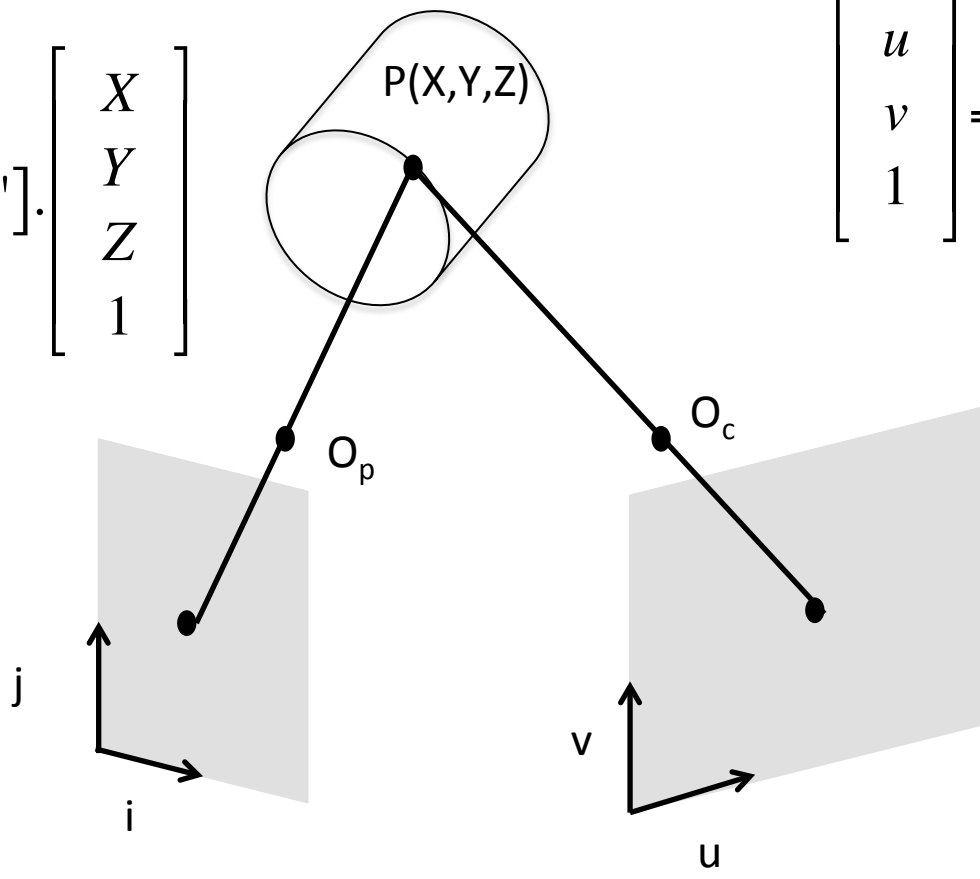


$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \cdot [R, T] \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

UN AUTRE POINT DE VUE

$$\begin{bmatrix} i \\ j \\ 1 \end{bmatrix} = K' \cdot [R', T'] \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \cdot [R, T] \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$



SCANNING

UN AUTRE POINT DE VUE

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \cdot [R, T] \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i \\ j \\ 1 \end{bmatrix} = K' \cdot [R', T'] \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

u,v,i et j sont connus (ce sont les coordonnées en pixels dans le plan caméra et dans le plan projecteur)

déterminer X, Y et Z revient à résoudre un système d'équations

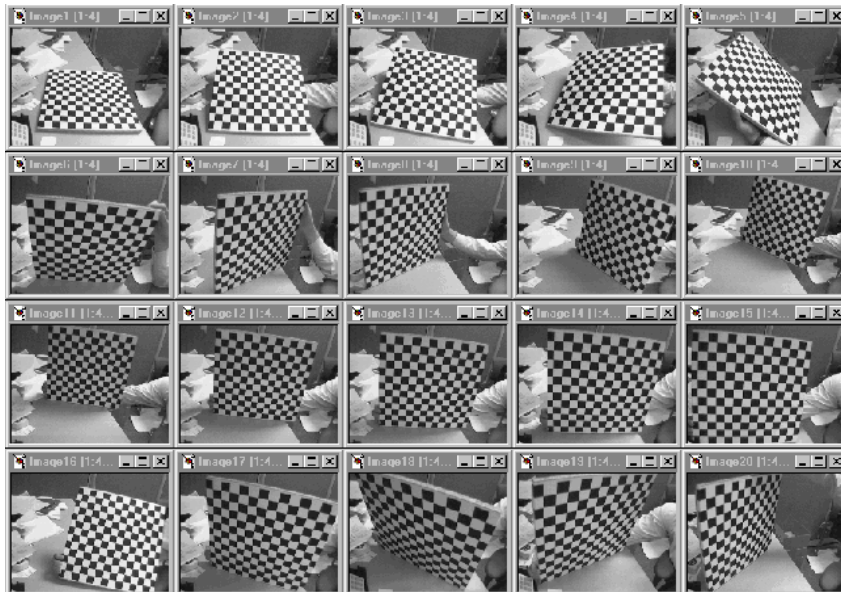
Si K, R, T, ainsi que K', R' et T' sont connus !

Obtenus avec un Calibrage

UN AUTRE POINT DE VUE

ETAPE 1 : CALIBRAGE DE LA CAMERA

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

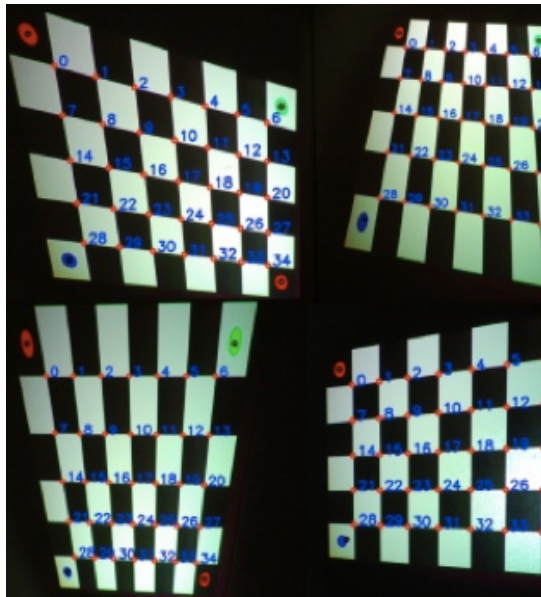


$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \cdot [R, T] \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$



UN AUTRE POINT DE VUE

ETAPE 2 : CALIBRAGE DU PROJECTEUR



Projection sur un plan d'une mire

Détermination des coordonnées 3D des « coins »

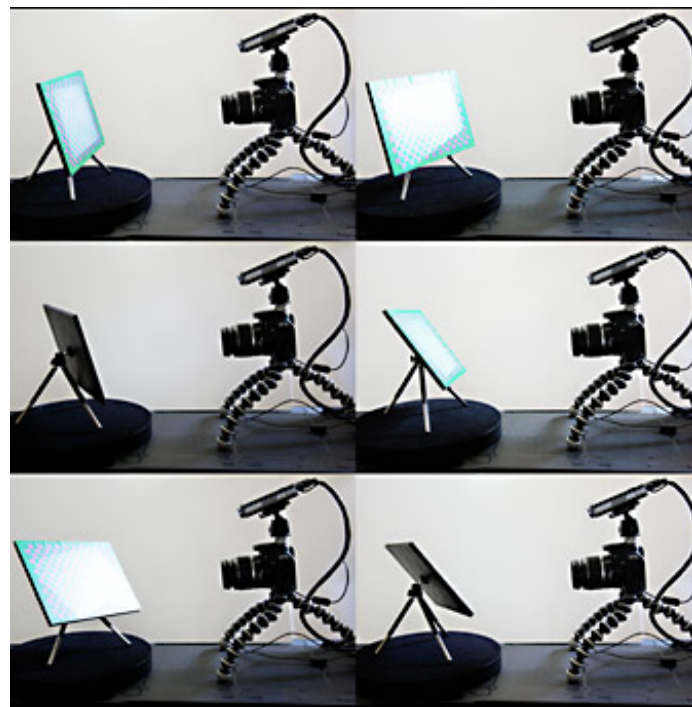
$$\begin{bmatrix} i \\ j \\ 1 \end{bmatrix} = K' \cdot [R', T'] \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Methode de Zang (Toolbox Bouguet)

# CALIBRATION

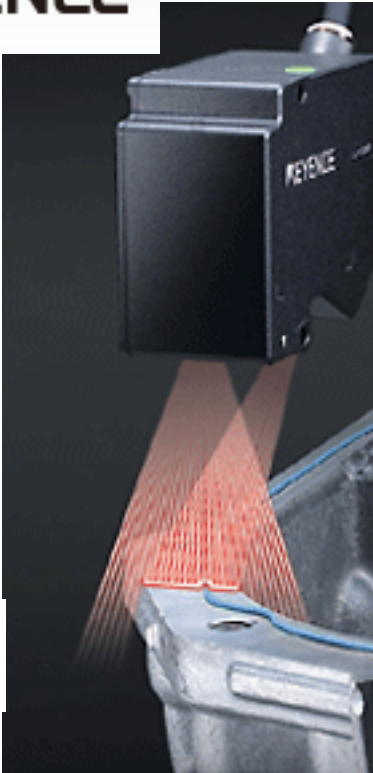
EXEMPLE

Le Système PicoScan



KEYENCE

SYSTEMES COMMERCIAUX

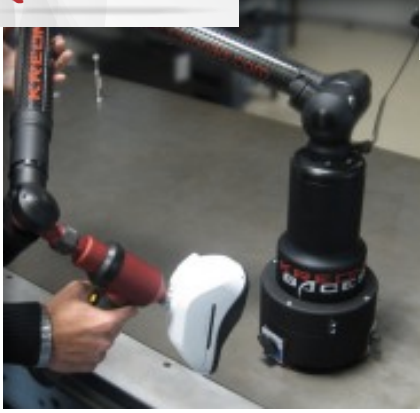


KONICA MINOLTA

SCANNING 3D



Kreon

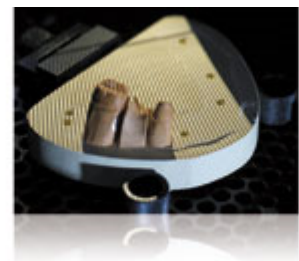
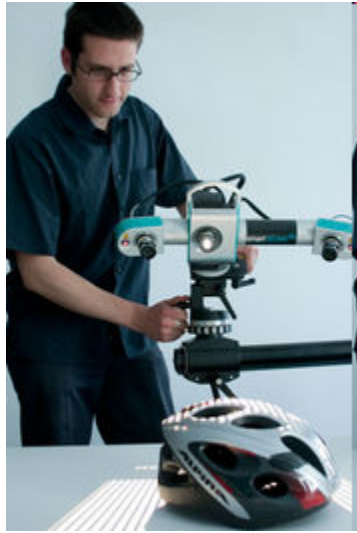


ROMER



# QUELQUES SCANNERS

## SYSTEMES COMMERCIAUX



SCA



SYSTEMES COMMERCIAUX

Scanners portables : pas de bras poly-articulé mais moins de précision

SCANNING 3D



# QUELQUES SCANNERS

## SYSTEMES BAS COÛT

<http://www.david-laserscanner.com/>



SCANNING 3D



SYSTEME TRES BAS COÛT

<http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/ICCV98/>



pour calibrer la caméra

pour la source lumineuse

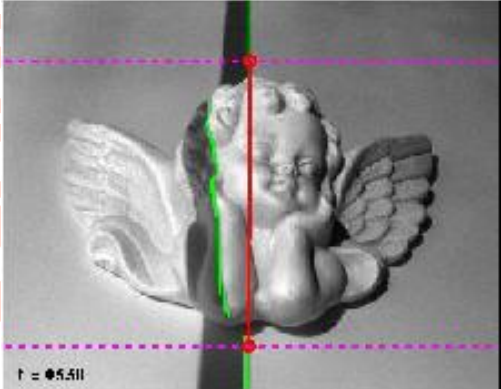
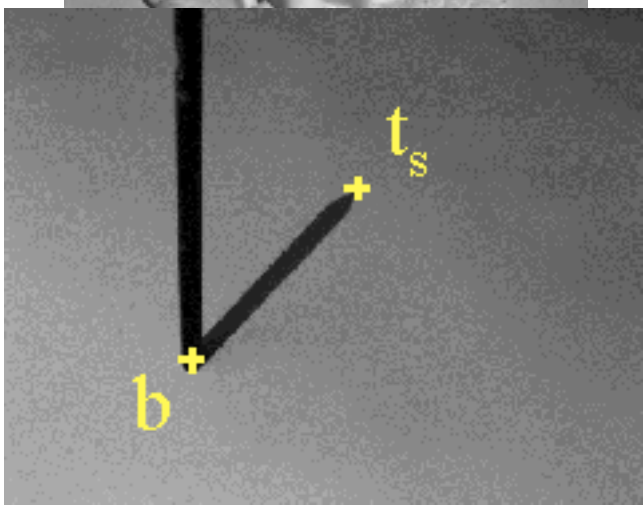
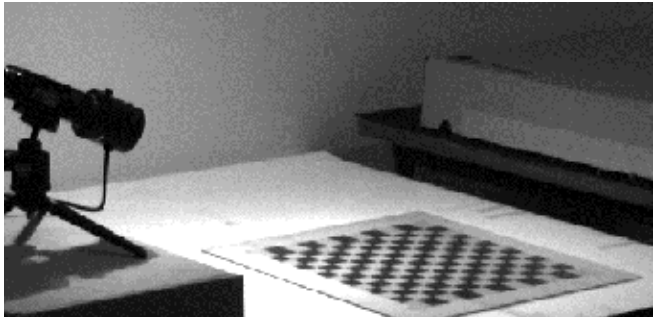
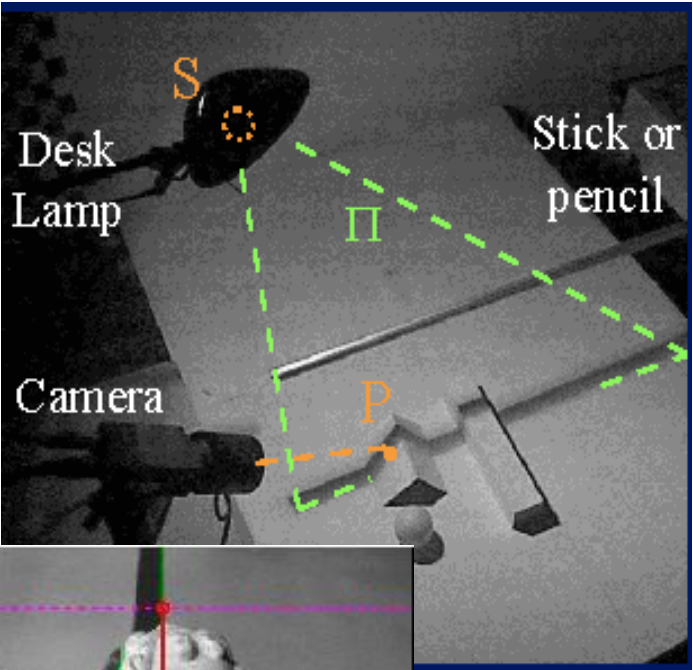
pour créer le Pattern (ombre)

pour caractériser la source

# QUELQUES SCANNERS

## SYSTEME TRES BAS COÛT

SCANNING 3D

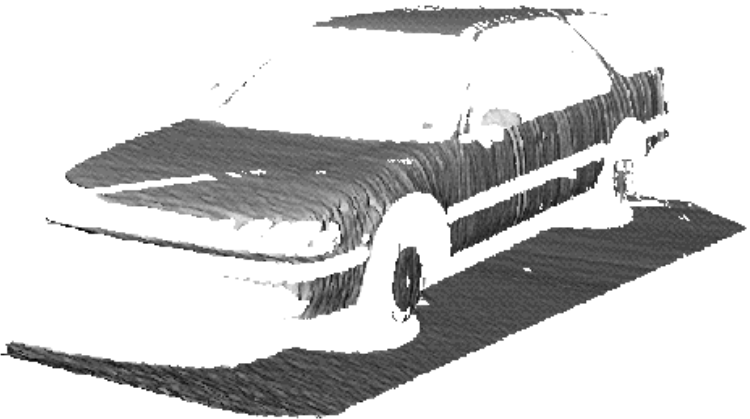




QUELQUES SCANNERS

SYSTEME TRES BAS COÛT

SCANNING 3D



LA TRIANGULATION ACTIVE :

ASSEZ REPANDUE AUJOURD'HUI

APPROCHE ASSEZ BIEN MAITRISÉE

PERFORMANCES INTERESSANTES

(VITESSE, PRÉCISION...)

D'APRÈS LES FABRIQUANTS (« Commerciaux »):

« ÇA MARCHE TOUJOURS ! »