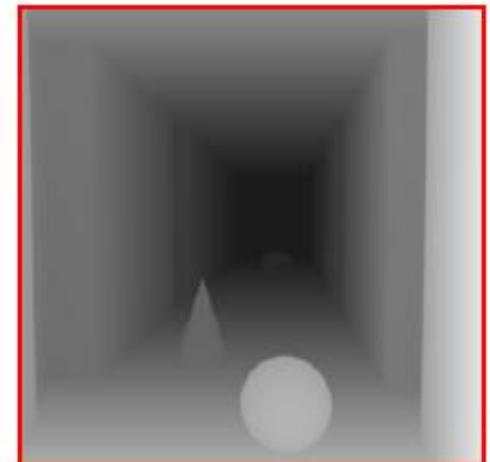
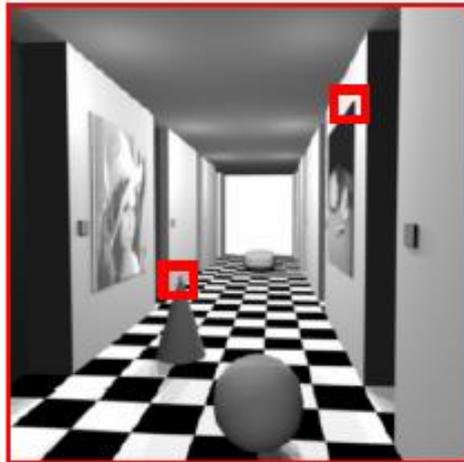
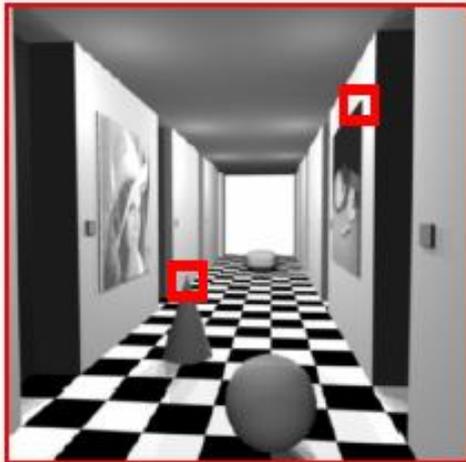
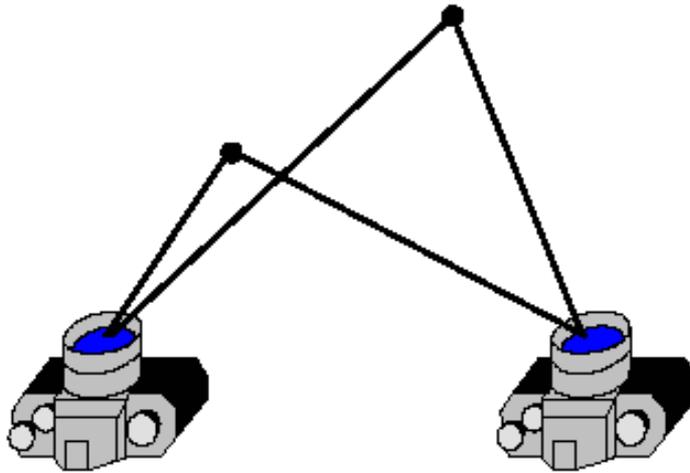


# Vision stéréoscopique

Prof. Slimane LARABI

# Vision stéréoscopique



# Introduction

- Une seule vue ne nous permet pas de voir en 3 dimensions (apprécier les distances).
- En utilisant deux ou plusieurs vues, on évalue la position 3D des objets par triangulation.
- On obtient une vue supplémentaire par l'ajout d'une caméra ou en déplaçant la même caméra.

# Définition de la vision stéréoscopique

- La vision stéréoscopique est un processus qui permet de retrouver la troisième dimension d'une scène à partir de deux images prises par deux caméras placées en des endroits différents.

# Etapes de la vision stéréoscopique

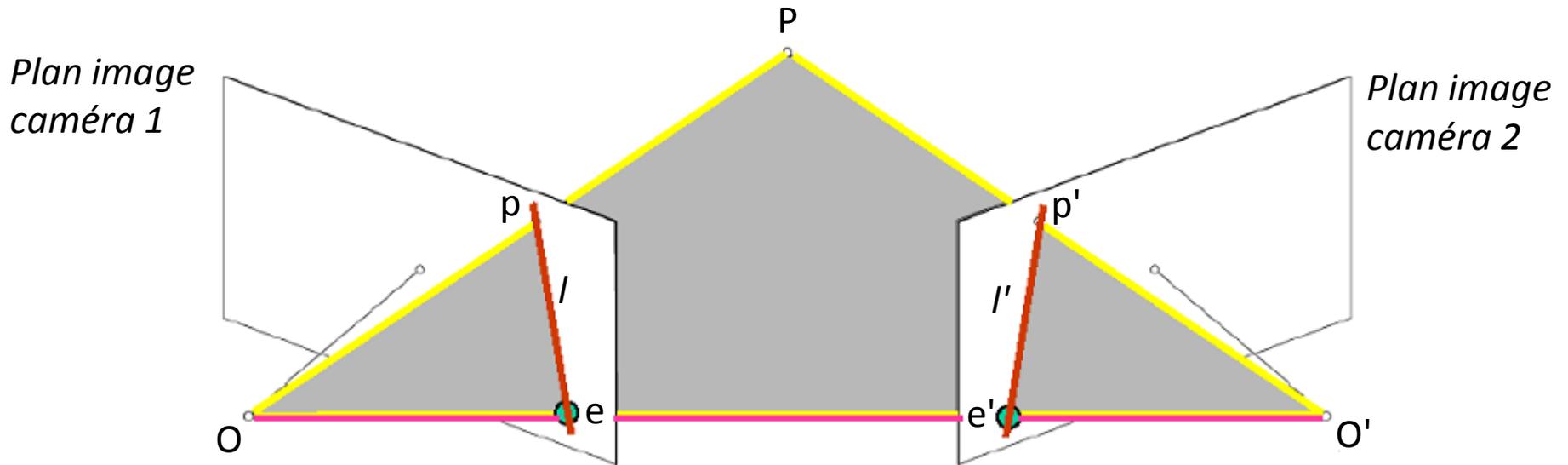
- Extraction des primitives 2D (Points, segments).
- Mise en correspondance des primitives 2D.
- Reconstruction des primitives 3D par triangulation.

# Mise en correspondance

## Contraintes d'appariement

- Contrainte d'unicité
- Continuité (disparité)
- Contrainte épipolaire
- Contrainte d'ordre

# Géométrie épipolaire

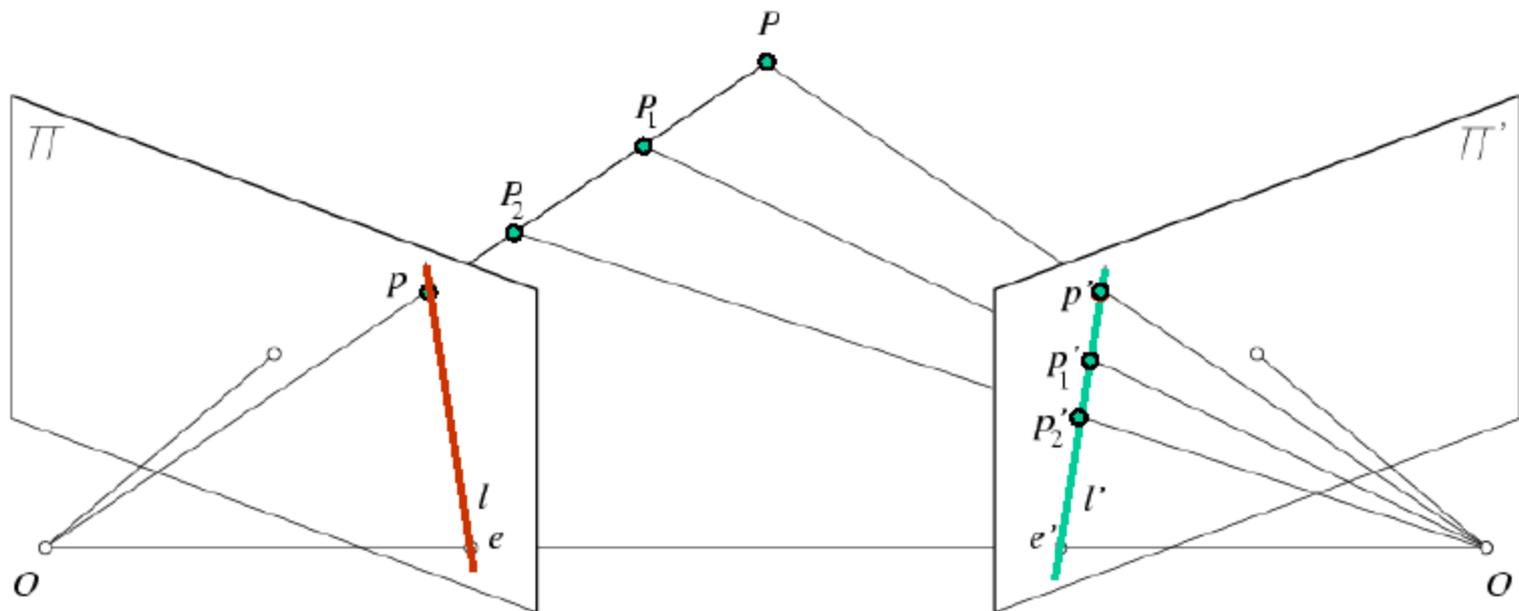


- 5 points dans le même plan:  $P$ ,  $p$ ,  $p'$ ,  $O$  et  $O'$
- les droites  $l$  et  $l'$  sont les droites épipolaires (conjuguées)
- les points  $e$  et  $e'$  sont respectivement les épipôles gauche et droit
- $e$  est en fait  $O'$  vu dans l'image gauche
- $e'$  est  $O$  vu dans l'image droite

# Droites épipolaires et épipôles

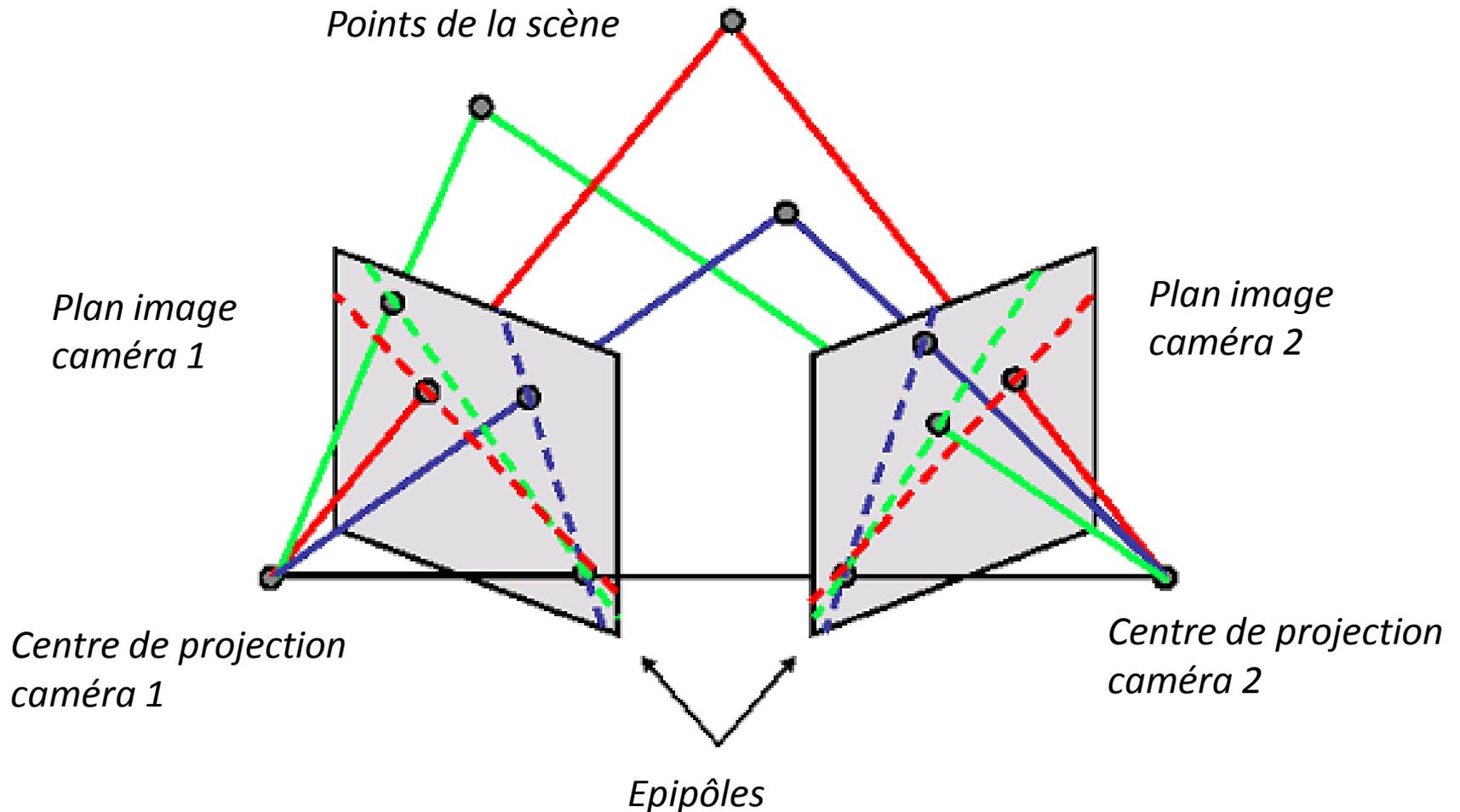
- Un **épipôle** est le centre de projection d'une caméra vue dans le plan image de l'autre caméra.
  - Une seule droite épipolaire passe par chaque point des images (sauf aux épipôles).
- Une **droite épipolaire** est formé par l'épipôle et un point de l'image (multitude de droites épipolaires par image).
  - Les droites épipolaires passent toutes par les épipôles.

# Droites épipolaires et épipôles



- Un point dans l'image gauche se situe sur la droite épipolaire correspondante dans l'image droite

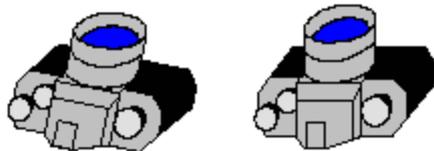
# Géométrie épipolaire



# Géométrie épipolaire

- Le correspondant d'un point de l'image gauche dans l'image droite **est contraint sur la droite épipolaire**.
  - Hypothèse d'aucune autre "distorsion" que la projection de perspective.
  - Cela limite l'espace de recherche pour trouver le correspondant d'un point.
- Lorsque les deux plans images des caméras sont parallèles :
  - les droites épipolaires sont parallèles
  - les épipoles sont à l'infini.

# Exemples de droites épipolaires

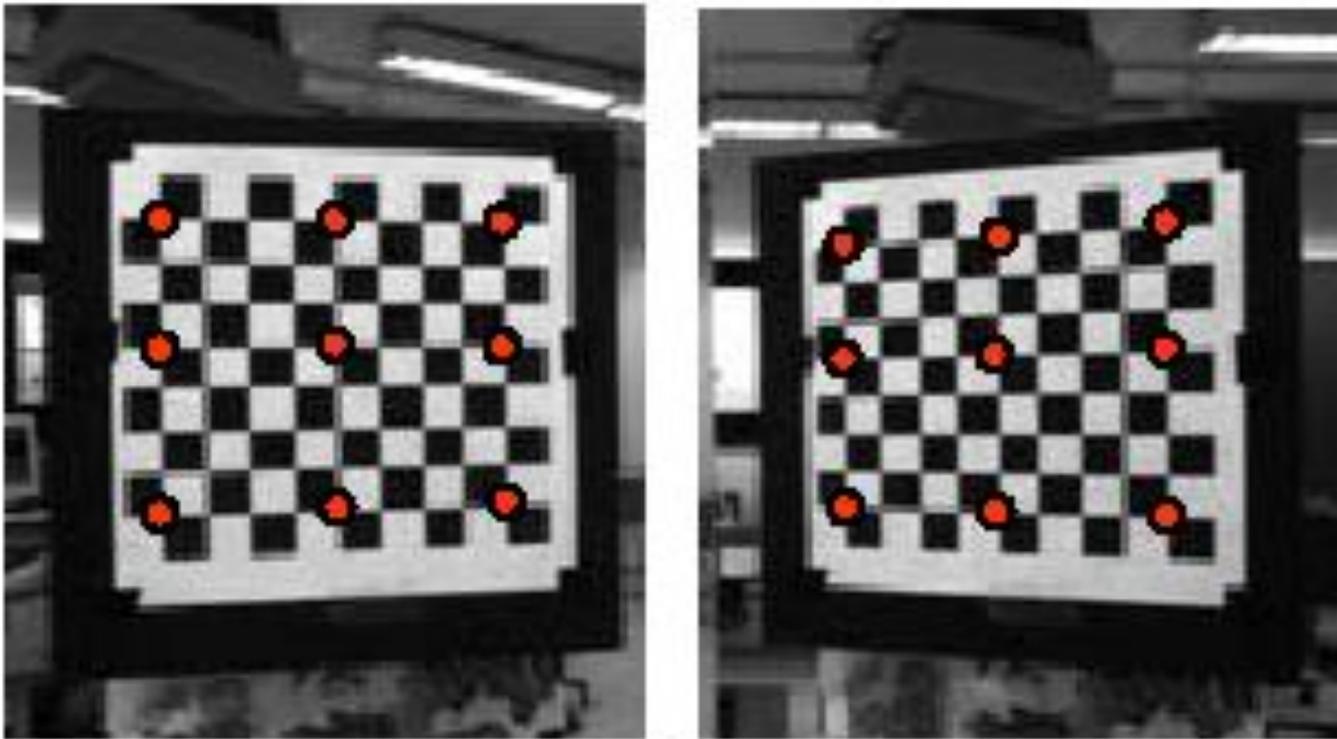


# Paramètres de la géométrie

- **Problème :**
  - Connaître les épipôles et les paramètres de cette géométrie épipolaire.
- **Solution :**
  - Calibration d'un système à deux caméras fixes.
  - Connaître la transformation d'une caméra vers l'autre.
- Nous souhaitons connaître la transformation qui permet de passer des paramètres (intrinsèques et extrinsèques) d'une caméra aux paramètres (intrinsèques et extrinsèques) de l'autre caméra.
- Les équations sont développées et résolues pour les deux caméras en même temps.

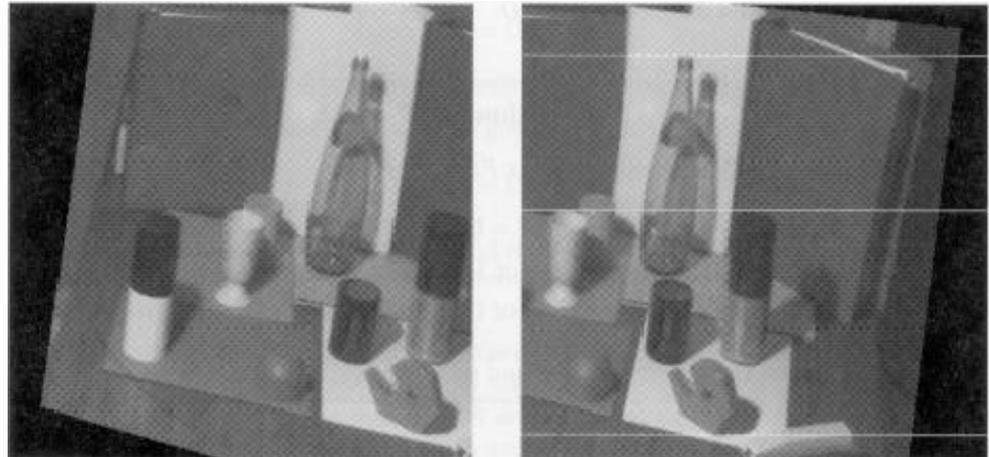
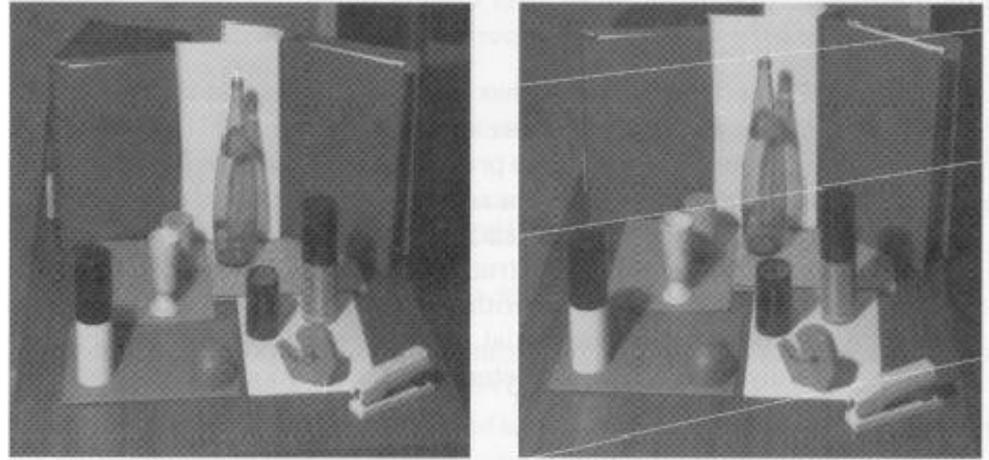
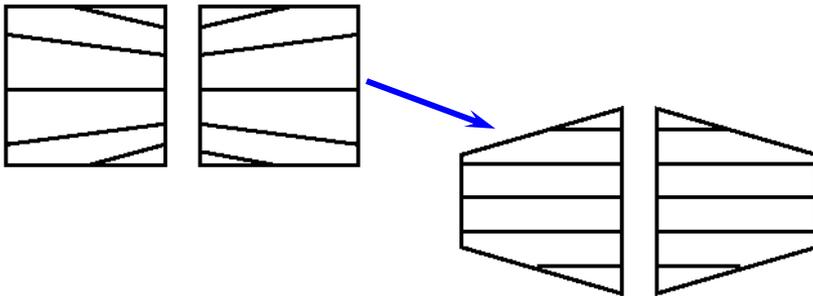
# Mire de calibration

- Calibrer les deux caméras l'une par rapport à l'autre.



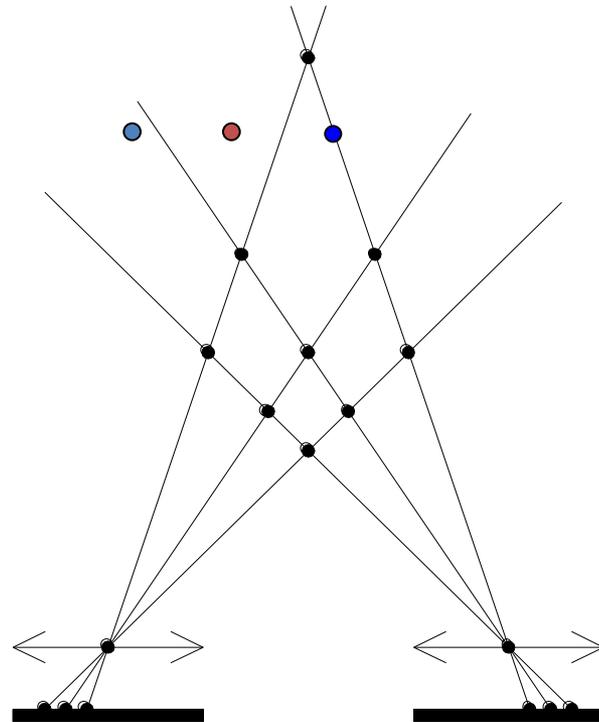
# Rectification d'images

- **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.

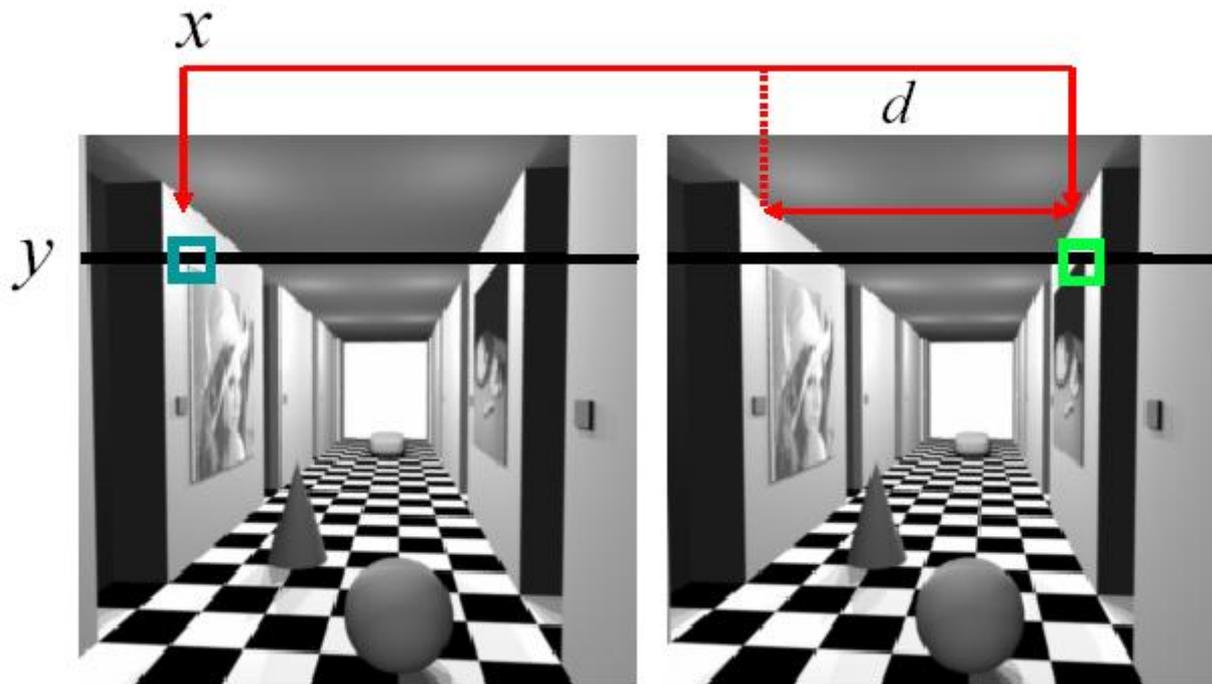


# Le problème de l'appariement

- L'**appariement** est la tâche la plus complexe.
- Il faut identifier les **paires de primitives** qui se retrouvent sur les deux images et **qui correspondent aux mêmes points de la scène**.



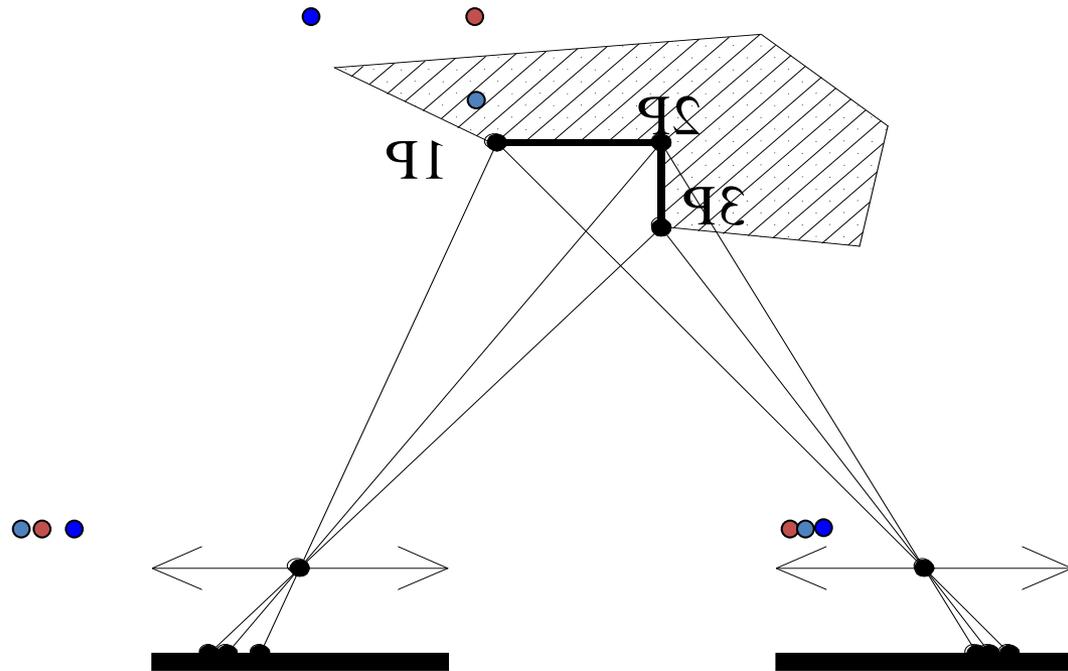
# Correspondance entre primitives



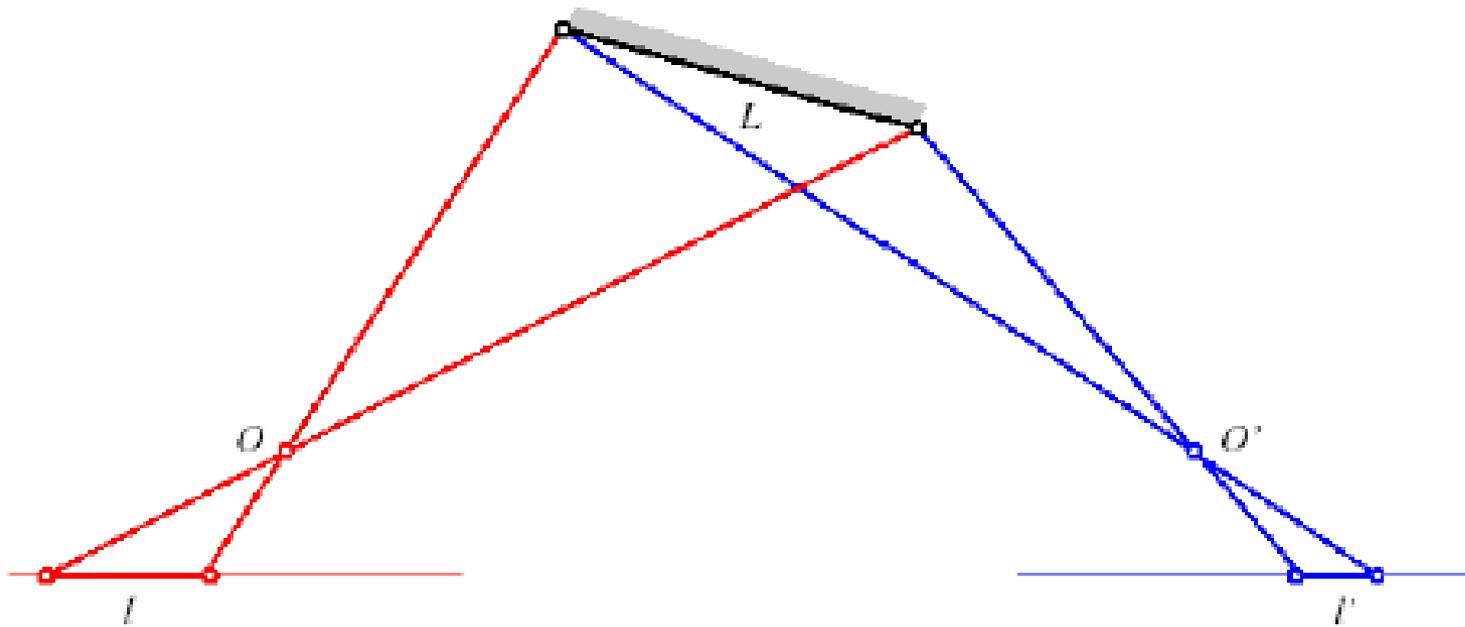
- Il faut trouver les paires de primitives correspondantes dans les deux images.
- Chaque primitive est vue avec un angle et un contexte différent par les deux caméras.

# Difficultés de l'appariement

Les points ne sont *pas* forcément dans le même ordre dans les deux images.

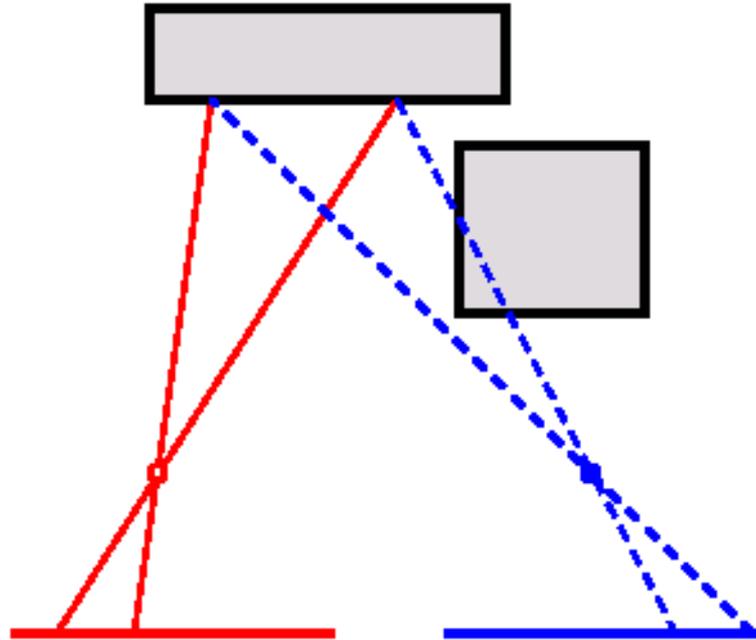


# Difficultés de l'appariement



Les tailles et distances ne sont pas les mêmes d'une image à l'autre.

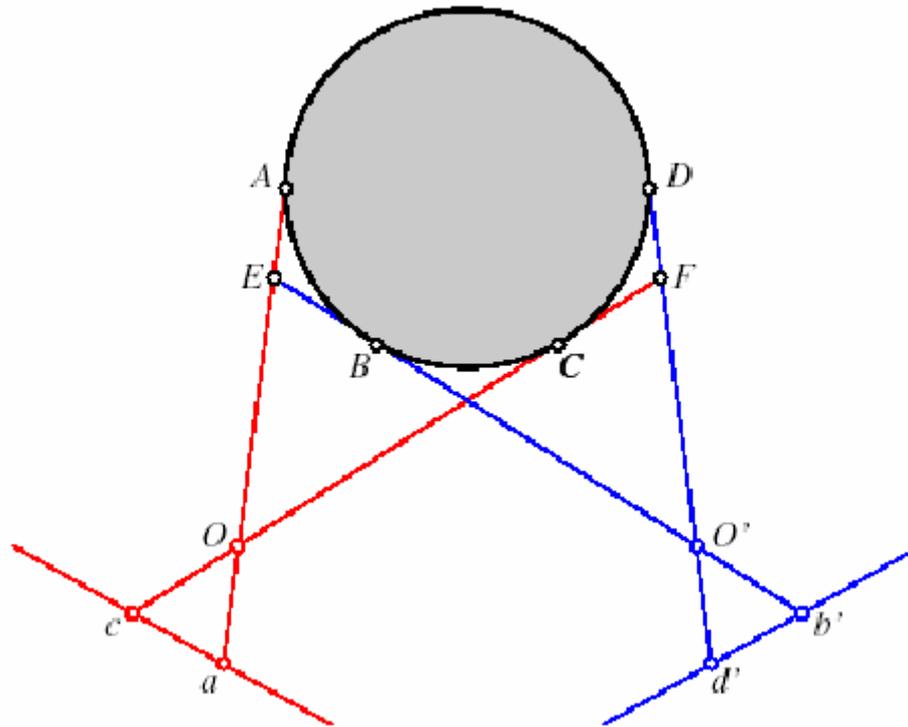
# Difficultés de l'appariement



Occlusions : des objets ou parties d'objets sont cachés

La correspondance n'existe pas dans ce cas.

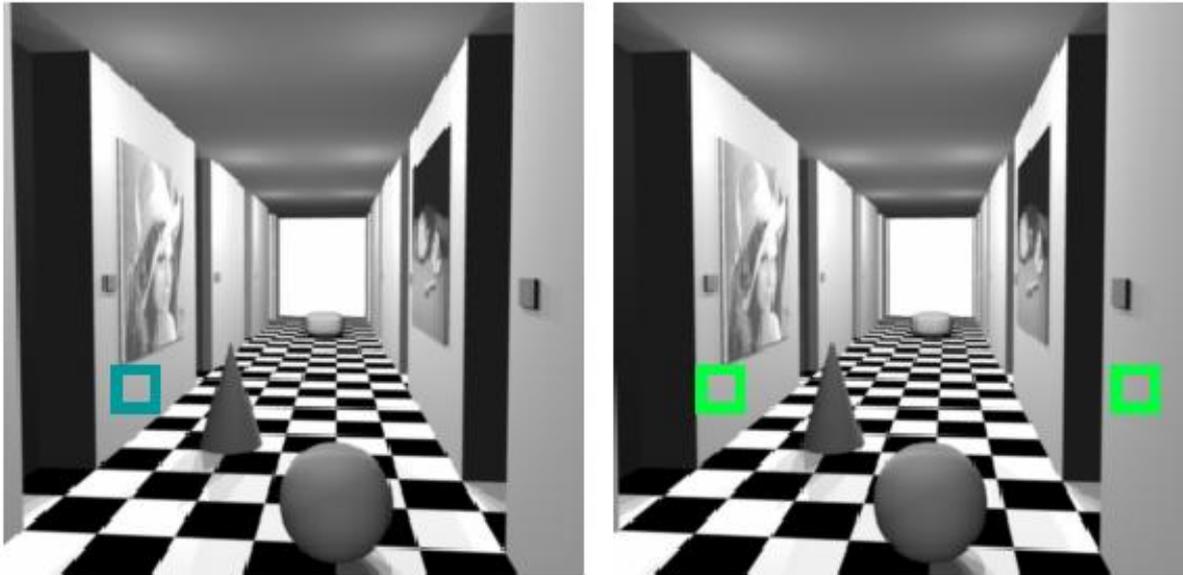
# Difficultés de l'appariement



Dans le cas d'objets sphériques ou curvilignes, les arêtes perçues ne correspondent pas d'une image à l'autre.

# Difficultés de l'appariement

- Correspondance difficile (voire impossible) dans les zones faiblement texturées.
- Ceci quelque soit l'approche utilisée.



# La correspondance

- **Hypothèses :**
  - Les points de la scène sont visibles (en général) des deux points de vue (pas toujours vrai).
  - Les points correspondants sont similaires dans les images (valide surtout si les points sont beaucoup plus loin que la base de triangulation).
- **Approches :**
  - *Corrélation de voisinage*
    - permet un ensemble dense de correspondances
  - *Correspondance de caractéristiques*
    - ensemble épars de correspondances
    - exemple: des coins, des jonctions

# 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 le long de la droite épipolaire dans l'image de droite
    - si on suppose le volume d'observation fini, la disparité est limitée
    - on peut donc fixer un intervalle de recherche le long de la droite épipolaire en supposant une disparité initialement à 0.

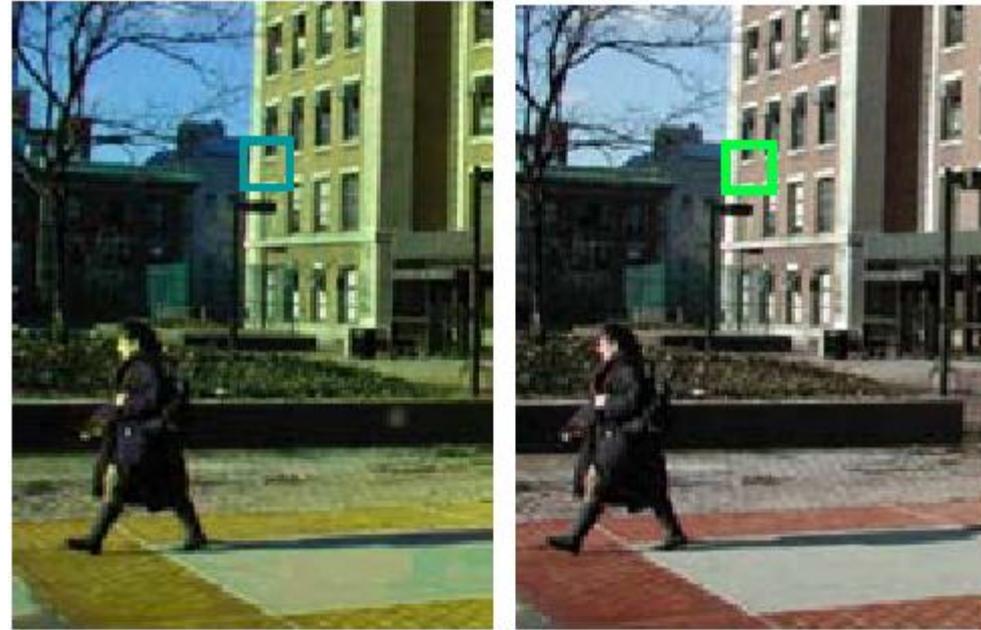
# Approche basée sur la corrélation

- Il existe plusieurs fonctions possibles de corrélation entre pixels.
- Soit  $u$  et  $v$  la valeur d'illumination des deux pixels
  - $(u-v)^2$  : minimiser la différence au carré
  - $(u-v)^2 = u^2 - 2uv + v^2$  : on peut aussi maximiser  $uv$
- Fonction de corrélation normalisée par la valeur d'illumination moyenne sur le voisinage :

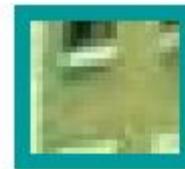
$$\frac{\sum (u - \bar{u})(v - \bar{v})}{\sqrt{\sum (u - \bar{u})^2} \sqrt{\sum (v - \bar{v})^2}}$$

# Avantage de la corrélation normalisée

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



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



# Correspondance de caractéristiques

- Il s'agit d'une correspondance qui n'est pas dense
  - C'est-à-dire pas beaucoup de points de correspondance
- Rechercher des **primitives extraites des images** :
  - **droites** et **points d'arêtes** (perpendiculaires aux droites épipolaires)
    - utile dans des environnements structurés comme l'intérieur de bâtiments
  - **coins**
  - **centre de cercles**
- On peut aussi examiner la corrélation autour de ces caractéristiques.

# Cas de caméras non-calibrées

- On ne connaît pas la géométrie épipolaire.
- On doit rechercher des correspondances dans toute l'image et non pas que sur une droite.
- Dans le cas de caméras proches et/ou d'objets éloignés, la correspondance est recherchée d'abord dans le voisinage proche.

# 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.

