



# TRAITEMENT D'IMAGES & VISION 3D

**Filière : 2 MRID**

Nadra BEN ROMDHANE

[nadra.benromdhane@isitc.u-sousse.tn](mailto:nadra.benromdhane@isitc.u-sousse.tn)

## ☰ Ch1 : Système de vision binoculaire

- Modélisation d'une caméra
- Géométrie projective, matrice de caméra
- Géométrie épipolaire
- Rectification d'images
- Triangulation

## ☰ Ch2 : Mise en correspondance stéréoscopique

- Difficultés de la mise en correspondance
- Primitives à mettre en correspondance
- Contraintes pour la mise en correspondance
- Classification des méthodes de mise en correspondance
- Techniques de mise en correspondance

## ☰ Ch3 : Localisation tridimensionnelle des objets

- Construction de la carte de disparité
- Localisation des objets
- Calcul de profondeur

## ☰ Ch1 : Système de vision binoculaire

- Modélisation d'une caméra
- Géométrie projective, matrice de caméra
- Géométrie épipolaire
- Rectification d'images
- Triangulation

## ☰ Ch2 : Mise en correspondance stéréoscopique

- Difficultés de la mise en correspondance
- Primitives à mettre en correspondance
- Contraintes pour la mise en correspondance
- Classification des méthodes de mise en correspondance
- Techniques de mise en correspondance

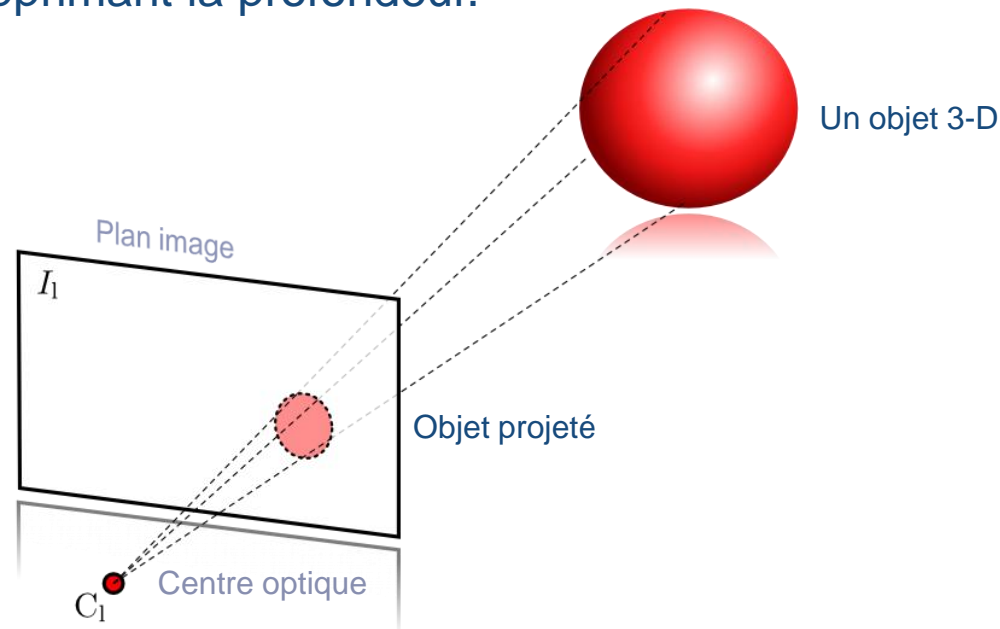
## ☰ Ch3: Localisation tridimensionnelle des objets

- Construction de la carte de disparité
- Localisation des objets
- Calcul de profondeur

# Système de vision binoculaire

## Introduction

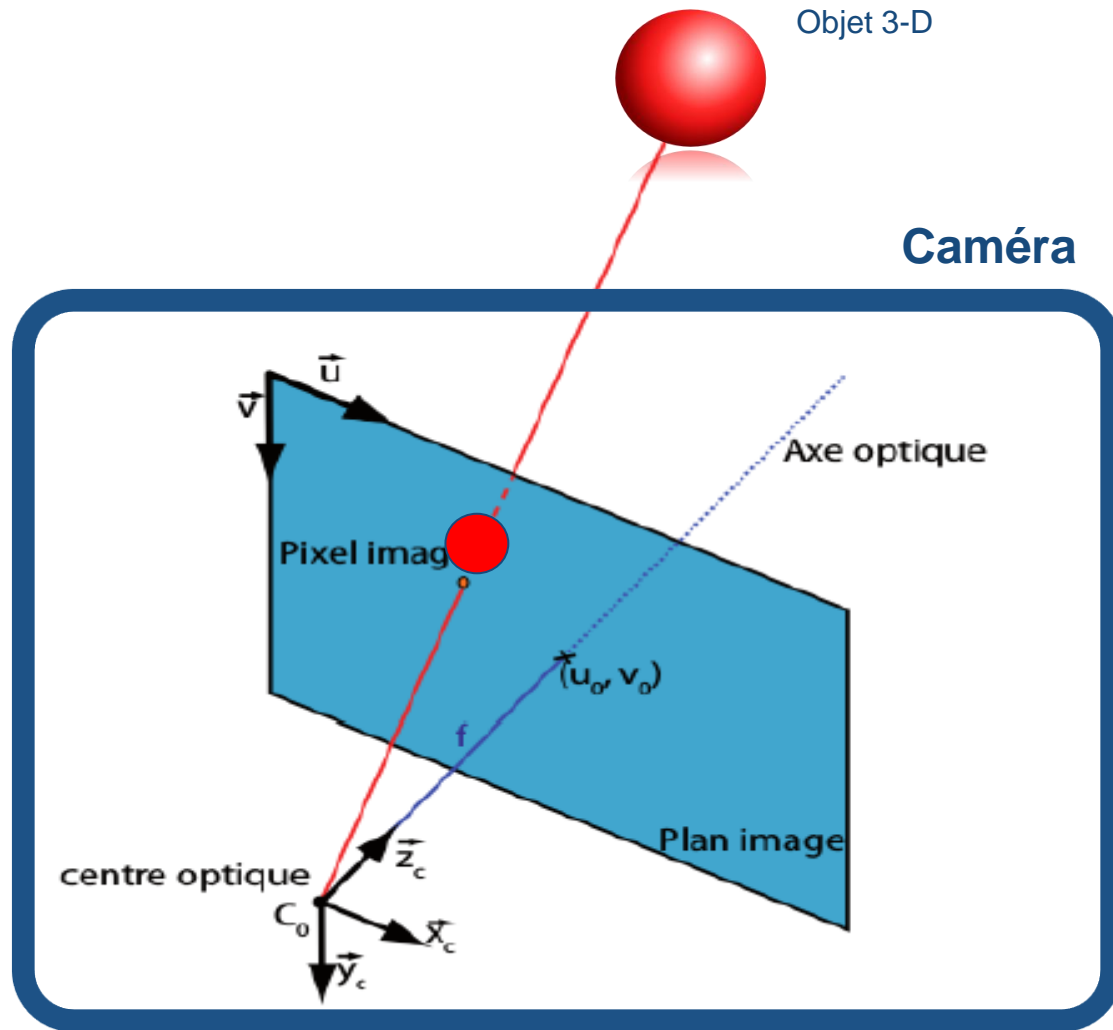
- ❑ Les images qui se forment sur notre rétine ou sur une photo proviennent du monde tridimensionnel, mais celles-ci sont réduites à deux dimensions, supprimant la profondeur.



- ❑ Grâce à la vision stéréoscopique, notre cerveau reconstruit cette troisième dimension.

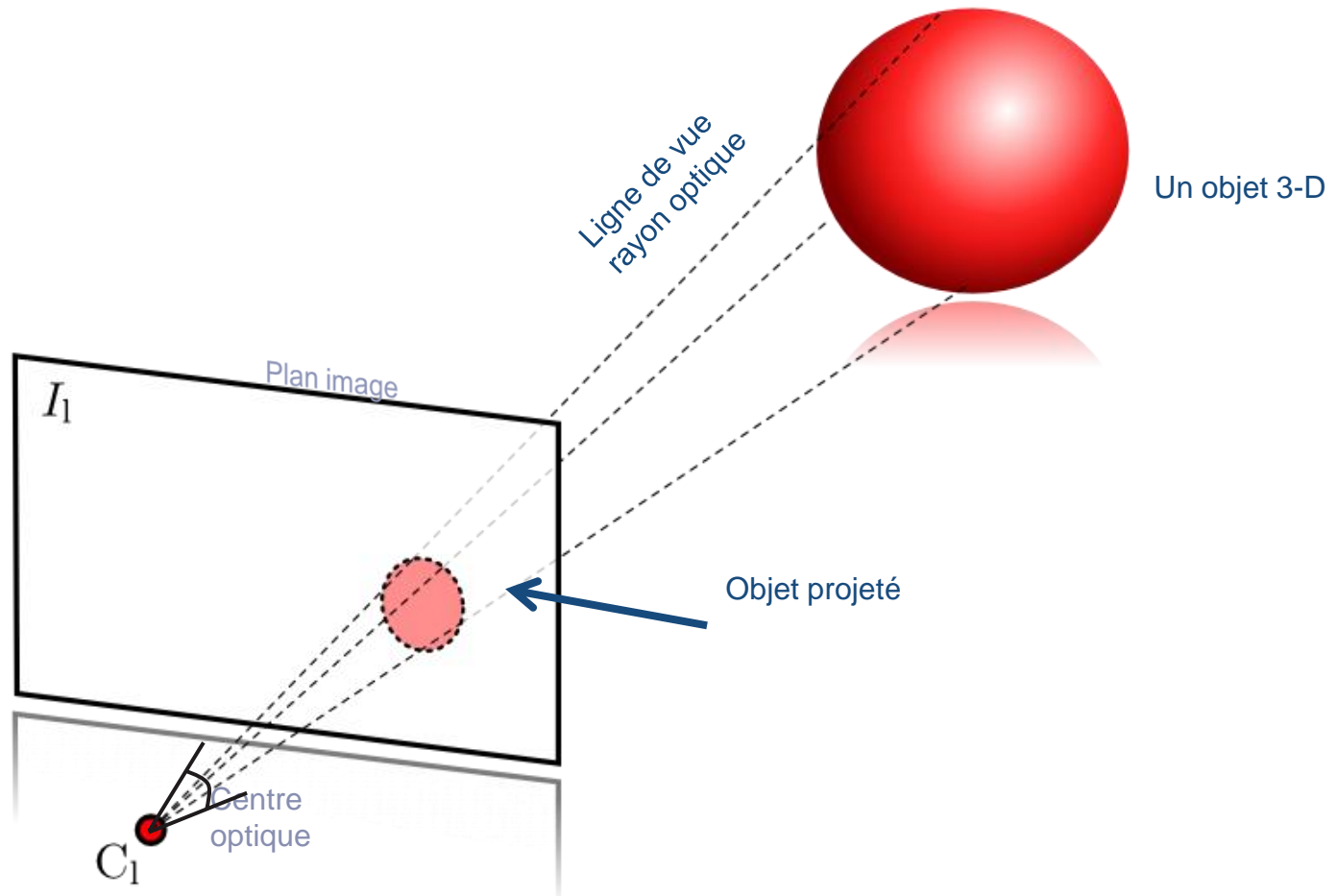
# Système de vision binoculaire

## Modélisation d'une caméra



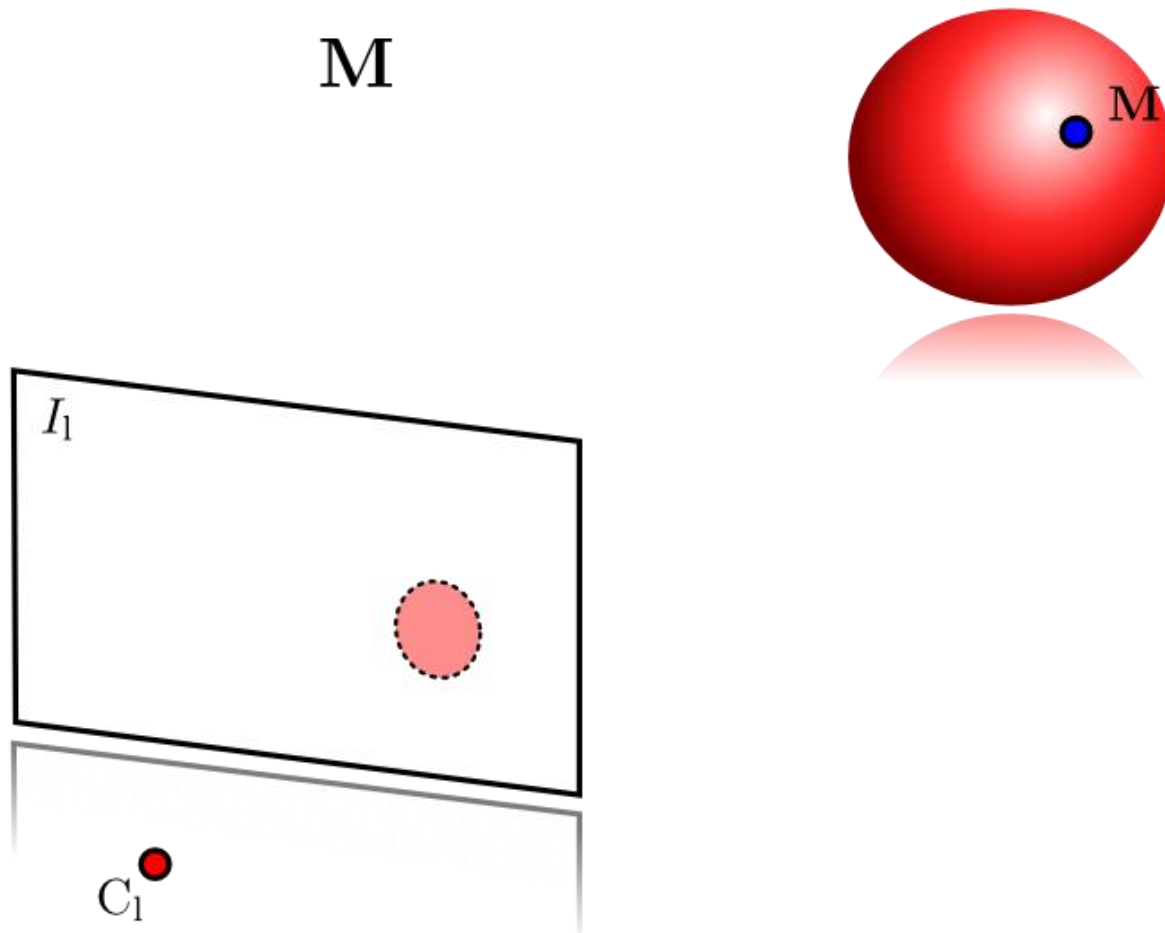
# Système de vision binoculaire

## Modélisation d'une caméra



# Système de vision binoculaire

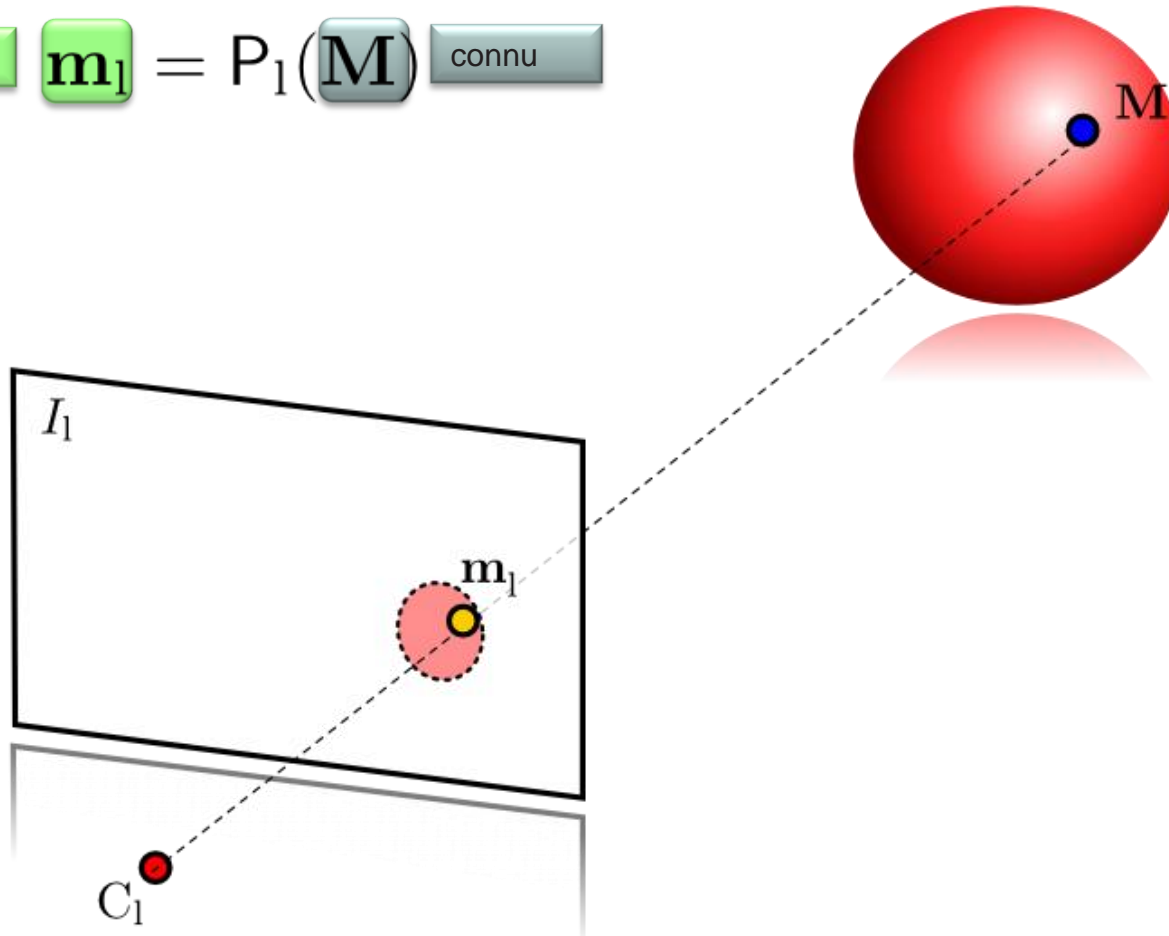
## ≡ Modélisation d'une caméra



# Système de vision binoculaire

## Modélisation d'une caméra

inconnu  $\mathbf{m}_1 = P_1(\mathbf{M})$  connu

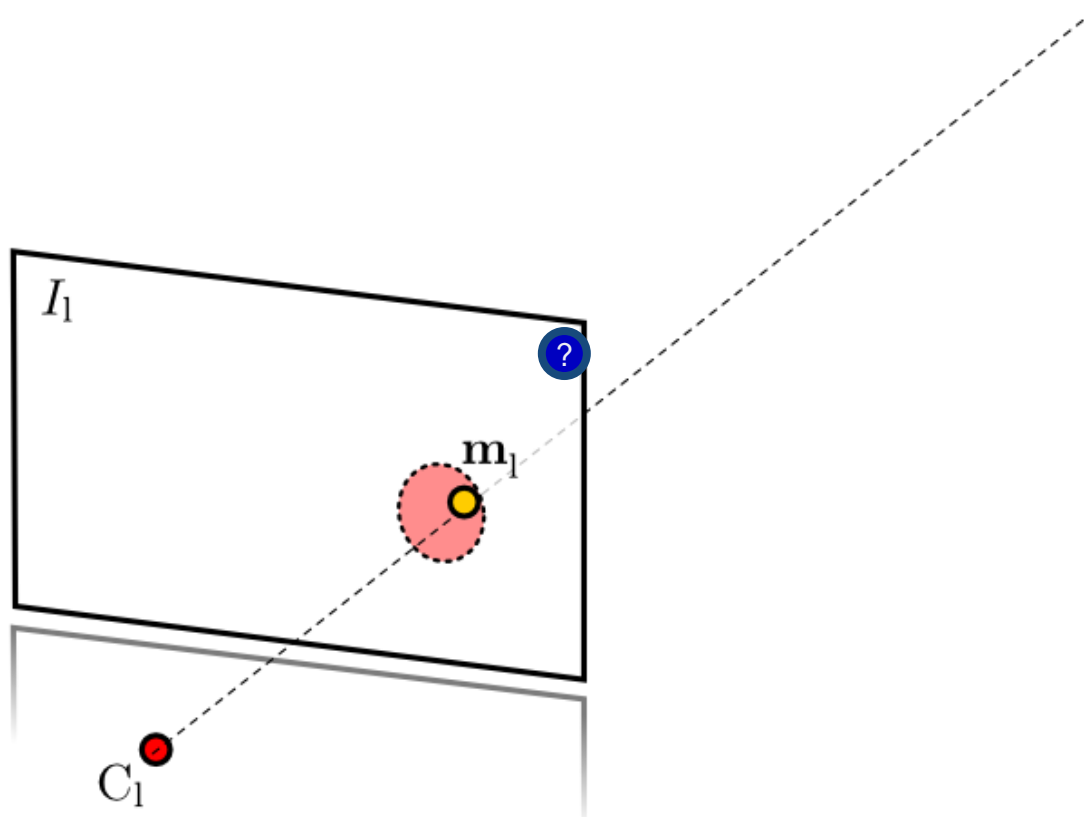




# Système de vision binoculaire

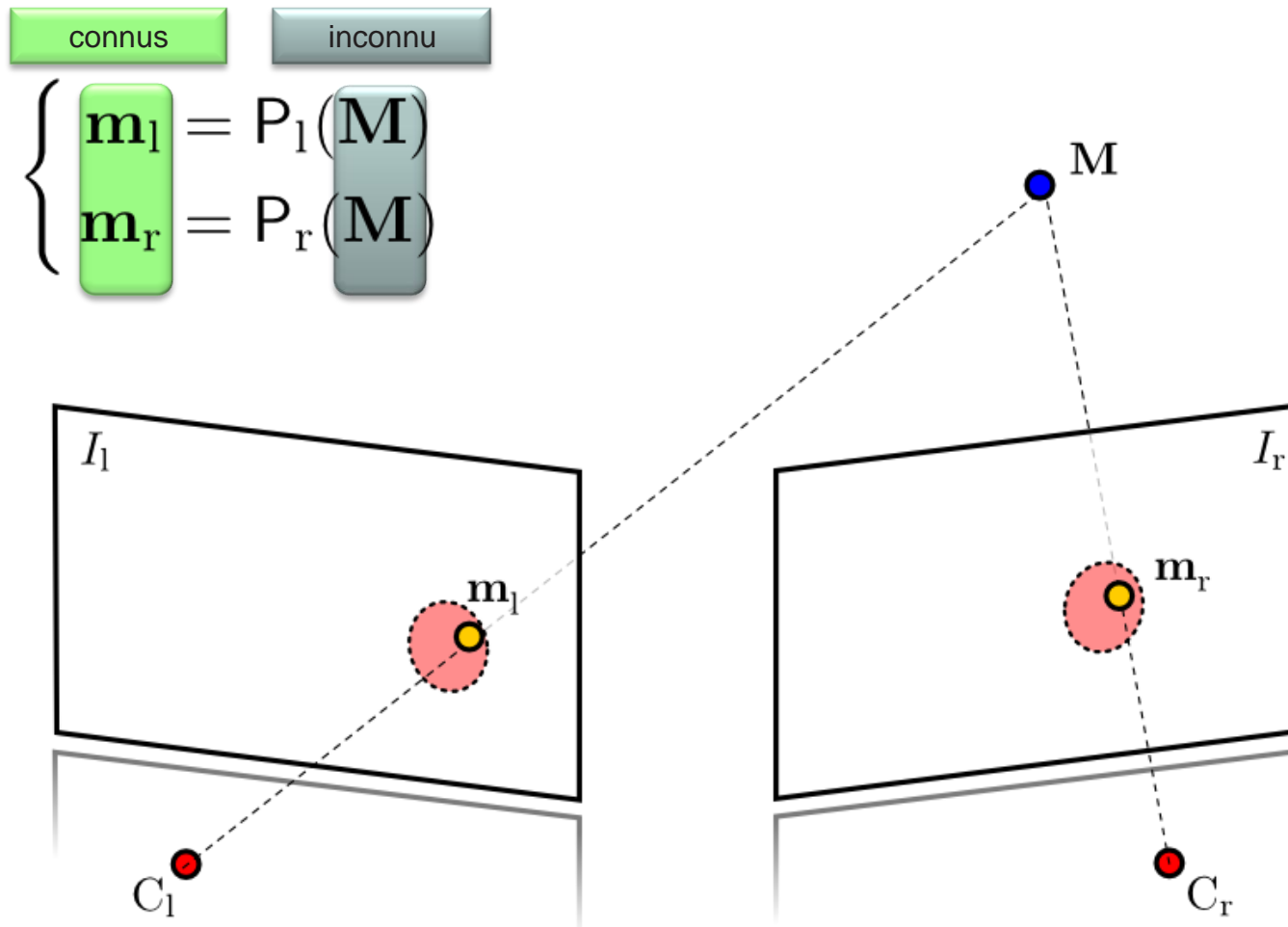
## ≡ Modélisation d'une caméra

$$\text{connu } \mathbf{m}_1 = P_1(\mathbf{M}) \text{ inconnu}$$



# Système de vision binoculaire

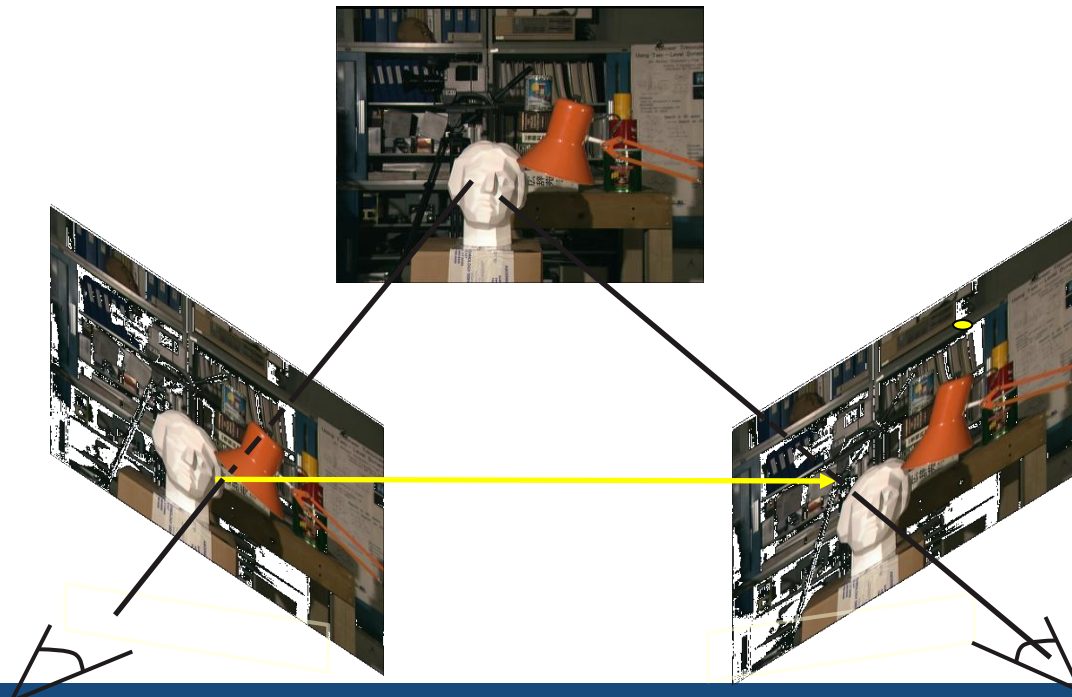
## Modélisation d'une caméra



# Système de vision binoculaire

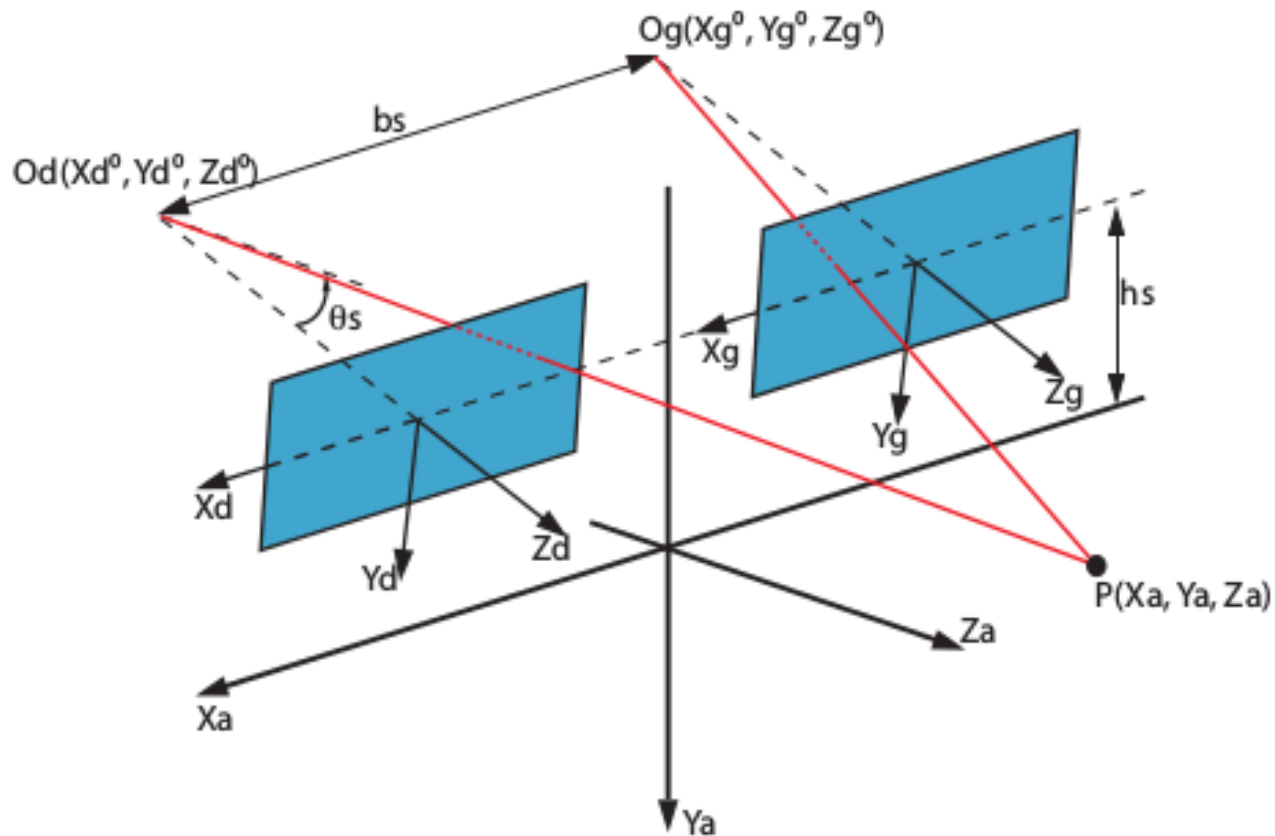
## ≡ Vision stéréoscopique

- Stéréovision : capteur composé de deux cameras
  - fixées à la même hauteur par rapport à la route,
  - captent une scène en même temps.
- Intérêt : acquisition de la profondeur par triangulation



# Système de vision binoculaire

## Modélisation d'une caméra



## Ch1 : Système de vision binoculaire

- Modélisation d'une caméra
- Géométrie projective, matrice de caméra
- Géométrie épipolaire
- Rectification d'images
- Triangulation

## Ch2 : Mise en correspondance stéréoscopique

- Difficultés de la mise en correspondance
- Primitives à mettre en correspondance
- Contraintes pour la mise en correspondance
- Classification des méthodes de mise en correspondance
- Techniques de mise en correspondance

## Ch3: Localisation tridimensionnelle des objets

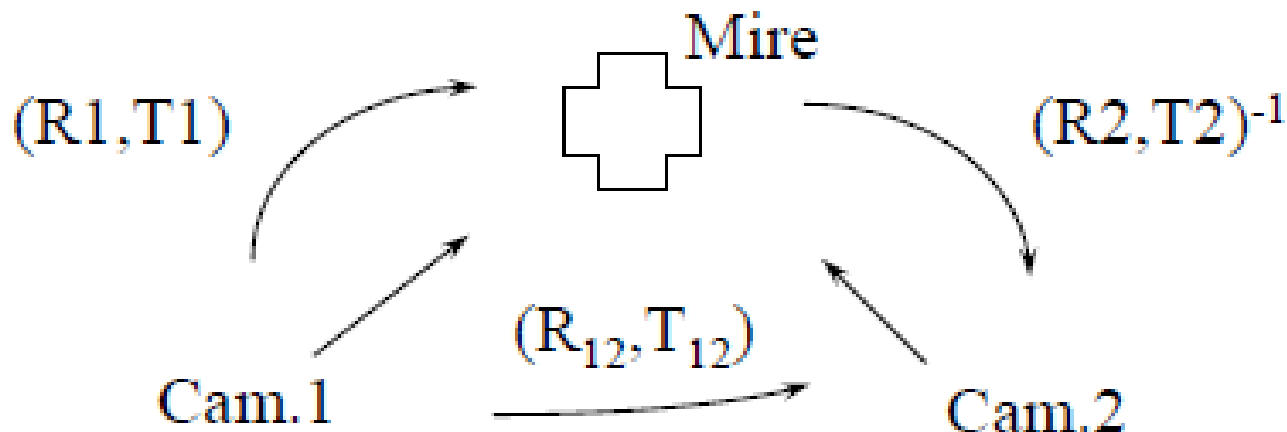
- Construction de la carte de disparité
- Localisation des objets
- Calcul de profondeur

# Système de vision binoculaire

## ☰ Calibration

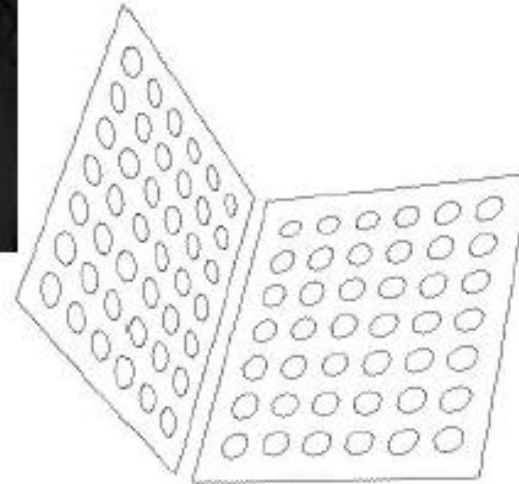
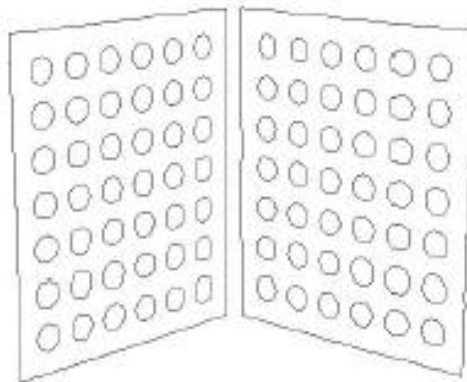
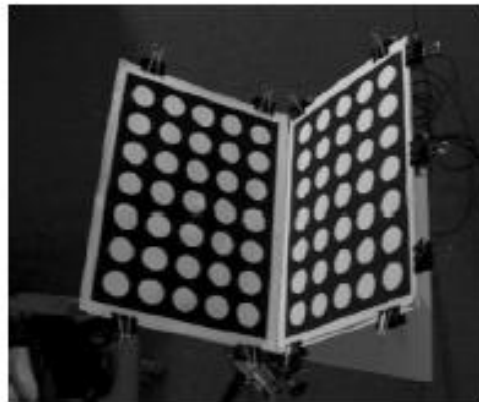
- **But:** trouver le déplacement entre les deux caméras gauche et droite par des moyens optiques uniquement
- **Moyen :** trouver la position caméra par rapport à un repère visible par les n caméras ( $n=2$ )

→ Utilisation d'une mire de calibration



## Calibration

### Mire de calibration



# Système de vision binoculaire

## Calibration

- : Appariement entre les points 3D de la mire et leur projection dans l'image
- Calibration : trouver l'équation de projection :

$$m_i = \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \end{pmatrix} = F(M_i) = F(X_i, Y_i, Z_i) \quad , \text{concrètement:}$$

$$\boxed{m_i = P \cdot M_i} \quad \begin{pmatrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} u_i = u_0 + \alpha_u \frac{X_a - X_i^0}{(Y_a - Y_i^0) \sin \theta_s + (Z_a - Z_i^0) \cos \theta_s} \\ v_i = v_0 + \alpha_v \frac{(Y_a - Y_i^0) \cos \theta_s - (Z_a - Z_i^0) \sin \theta_s}{(Y_a - Y_i^0) \sin \theta_s + (Z_a - Z_i^0) \cos \theta_s} \end{cases}$$

avec  $i=d$  ou  $g$ .



# Système de vision binoculaire

## Calibration

Paramètres intrinsèques: capturent la géométrie du capteur

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_u & 0 & u_c \\ 0 & \alpha_v & v_c \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

pixels (image)       $(\alpha_u, \alpha_v)$ : taille pixel      capteur (CCD)

$(u_c, v_c)$ : centre de l'image

# Système de vision binoculaire

## Calibration

**Paramètres extrinsèques:** capturent la position du capteur

$$s \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \boxed{\begin{matrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{matrix}} \\ \boxed{\begin{matrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{matrix}} \\ \begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ & & 1 \end{matrix} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix}$$

indétermination d'échelle

Projection perspective:  
 $x=X/Z \quad y=Y/Z$

$(R, T)$ : Position de la caméra

Point 3D (repère monde)

## Ch1 : Système de vision binoculaire

- Modélisation d'une caméra
- Géométrie projective, matrice de caméra
- Géométrie épipolaire
- Rectification d'images
- Triangulation

## Ch2 : Mise en correspondance stéréoscopique

- Difficultés de la mise en correspondance
- Primitives à mettre en correspondance
- Contraintes pour la mise en correspondance
- Classification des méthodes de mise en correspondance
- Techniques de mise en correspondance

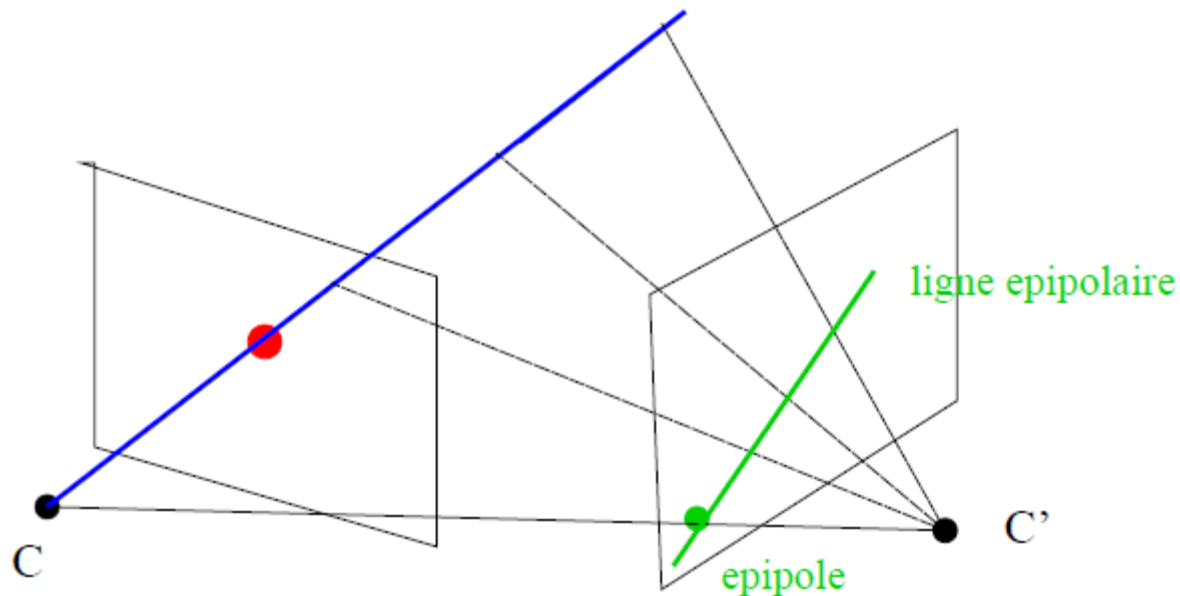
## Ch3: Localisation tridimensionnelle des objets

- Construction de la carte de disparité
- Localisation des objets
- Calcul de profondeur

# Système de vision binoculaire

## ≡ Géométrie épipolaire

Etant donné un point dans une image, où est son correspondant dans l'autre image?

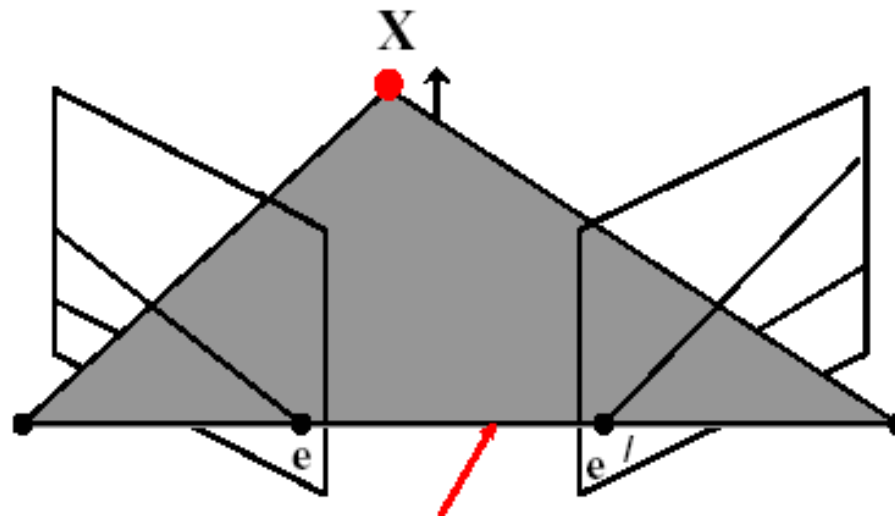


**contrainte épipolaire:** le correspondant d'un point appartient à une droite dans l'autre vue. La recherche du correspondant est un problème 1D.

# Système de vision binoculaire

## ≡ Géométrie épipolaire

Quand  $X$  varie dans la scène, les épipolaires forment un faisceau de base  $e$  et  $e'$



## ≡ Géométrie épipolaire

- Une ligne épipolaire correspond à l'intersection entre le *plan épipolaire* et un plan image
- Le *plan épipolaire* correspond au plan passant par les centres optiques des deux caméras et le point  $M$
- Ce plan passe aussi par les points  $M$ ,  $m_1$  et  $m_r$
- Le point d'intersection de l'ensemble des droites épipolaires d'un plan image est appelé *épipole*.

# Système de vision binoculaire

## ≡ Géométrie épipolaire

+ Le point  $M$ , et les deux foyers optiques vont déterminer un *plan épipolaire*.

+ L'intersection entre le plan épipolaire et un plan image détermine une **ligne épipolaire**.

+ Tout point de l'image gauche correspondant à un point de l'image droite doit se trouver sur la ligne épipolaire correspondante.

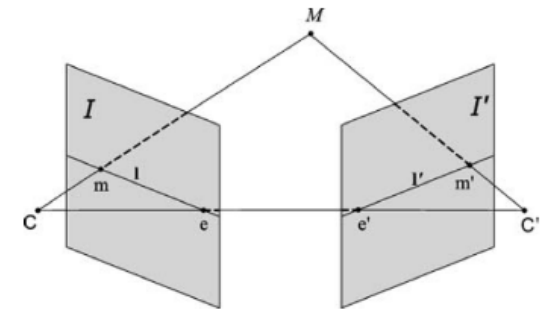


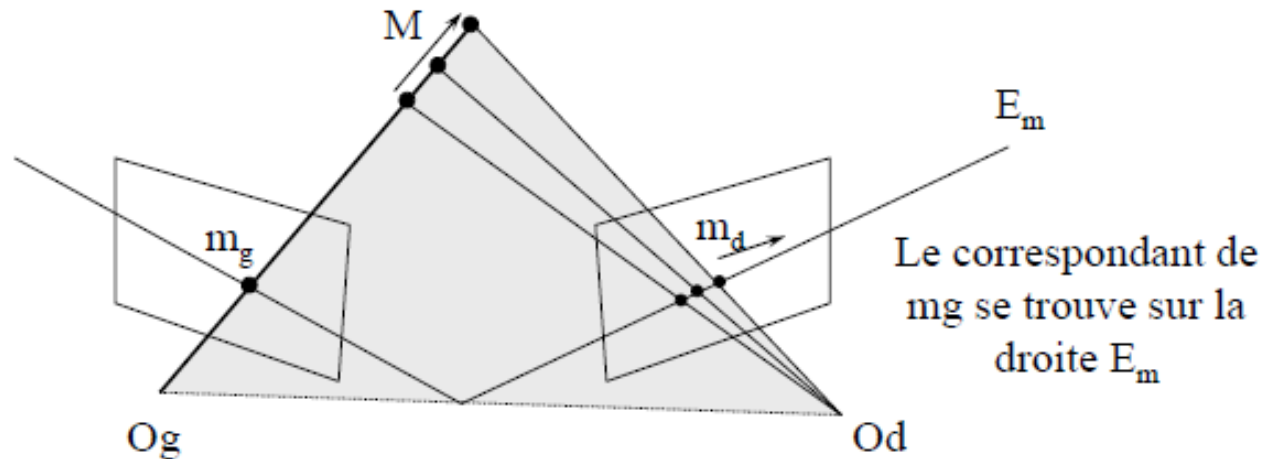
Image gauche

Image droite

# Système de vision binoculaire

## ≡ Géométrie épipolaire

- La principale est la **contrainte épipolaire**, qui ramène le problème de l'appariement d'une recherche 2D à une recherche 1D.



Avec la contrainte d'ordre, la contrainte épipolaire est la seule véritablement utile.



## Ch1 : Système de vision binoculaire

- Modélisation d'une caméra
- Géométrie projective, matrice de caméra
- Géométrie épipolaire
- Rectification d'images
- Triangulation

## Ch2 : Mise en correspondance stéréoscopique

- Difficultés de la mise en correspondance
- Primitives à mettre en correspondance
- Contraintes pour la mise en correspondance
- Classification des méthodes de mise en correspondance
- Techniques de mise en correspondance

## Ch3: Localisation tridimensionnelle des objets

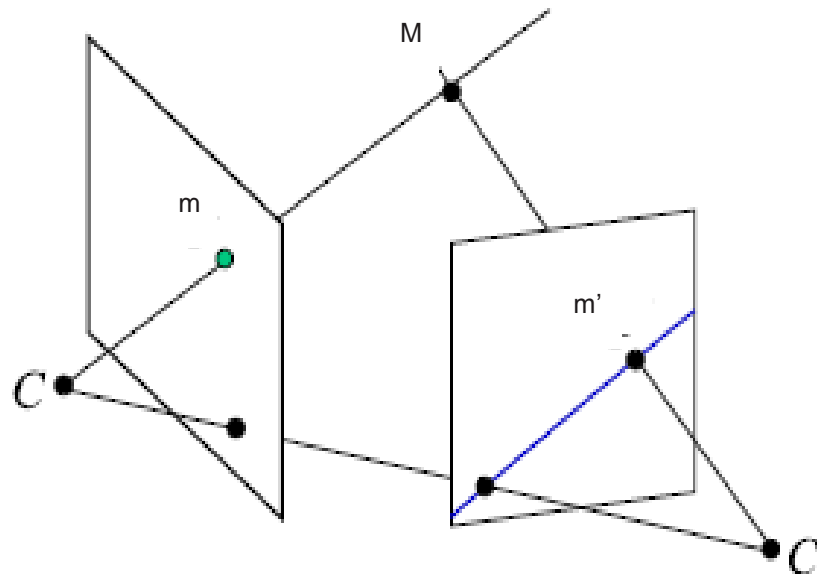
- Construction de la carte de disparité
- Localisation des objets
- Calcul de profondeur

# Système de vision binoculaire

## ≡ Rectification

- Propriété :

+ Les deux caméras étant fixées à la même hauteur, les deux images peuvent être **rectifiées** pour une recherche horizontale.



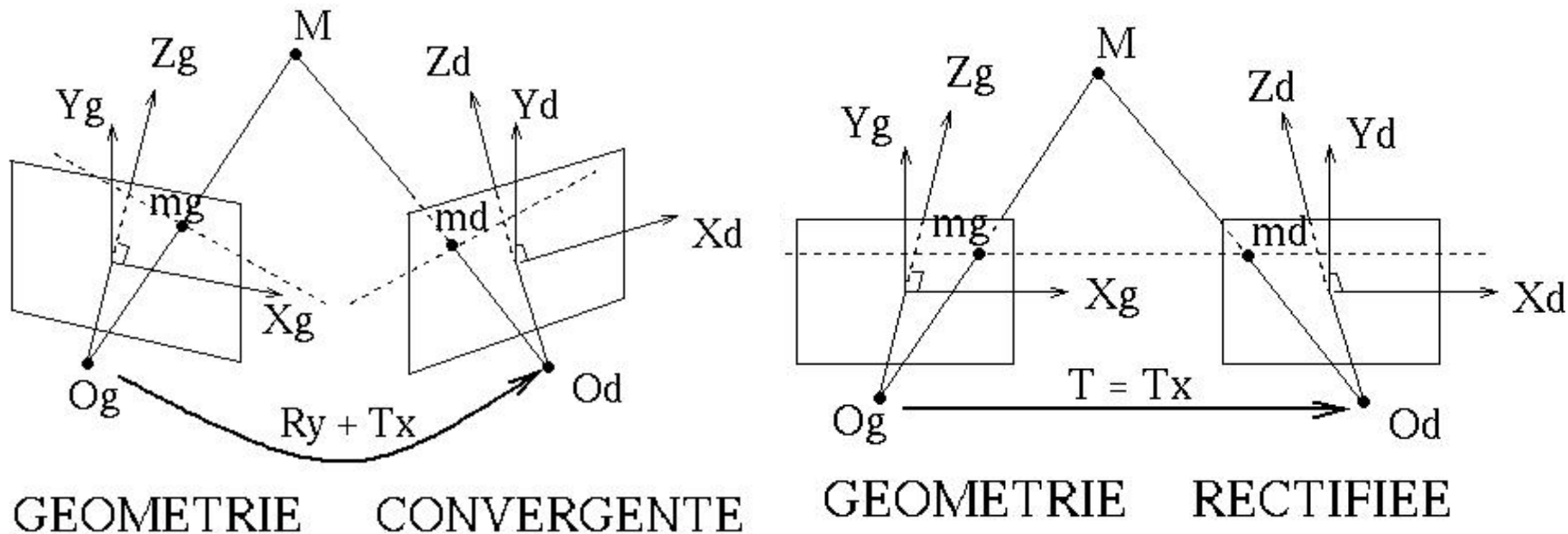
Geometrie epipolaire

# Système de vision binoculaire

## Rectification

- Propriété :

+ Les deux caméras étant fixées à la même hauteur, les deux images peuvent être **rectifiées** pour une recherche horizontale.

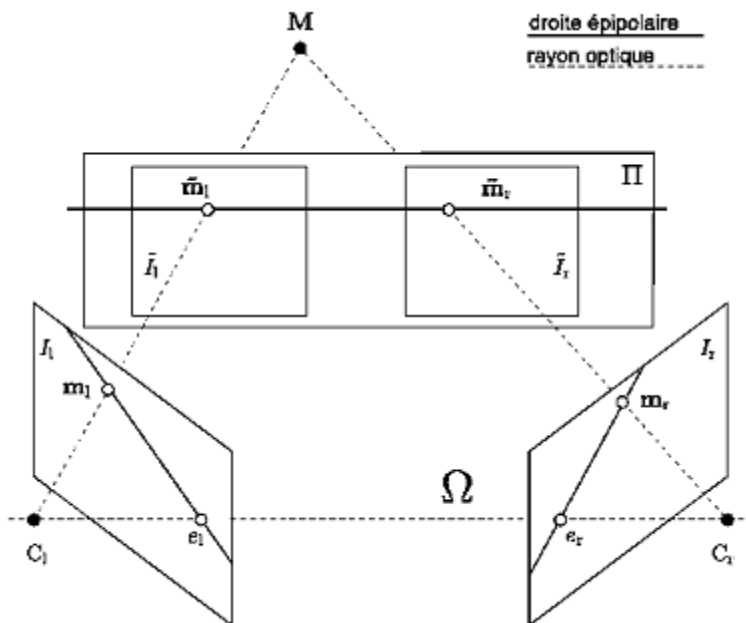


# Système de vision binoculaire

## Rectification d'images

□ Une transformation homographique est appliquée à chacune des deux images pour les re-projeter sur un même plan parallèle à la droite joignant les deux centres optiques

□ La matrice de chaque transformation est déterminée à partir des paramètres de calibrage du capteur.



avec :

- $I_l, I_r$  : plans images droit et gauche,
- $\bar{I}_l, \bar{I}_r$  : images rectifiées,
- $e_l, e_r$  : épipoles,
- $C_l, C_r$  : centres optiques des caméras.

Rectification des images stéréoscopiques

## Ch1 : Système de vision binoculaire

- Modélisation d'une caméra
- Géométrie projective, matrice de caméra
- Géométrie épipolaire
- Rectification d'images
- Triangulation

## Ch2 : Mise en correspondance stéréoscopique

- Difficultés de la mise en correspondance
- Primitives à mettre en correspondance
- Contraintes pour la mise en correspondance
- Classification des méthodes de mise en correspondance
- Techniques de mise en correspondance

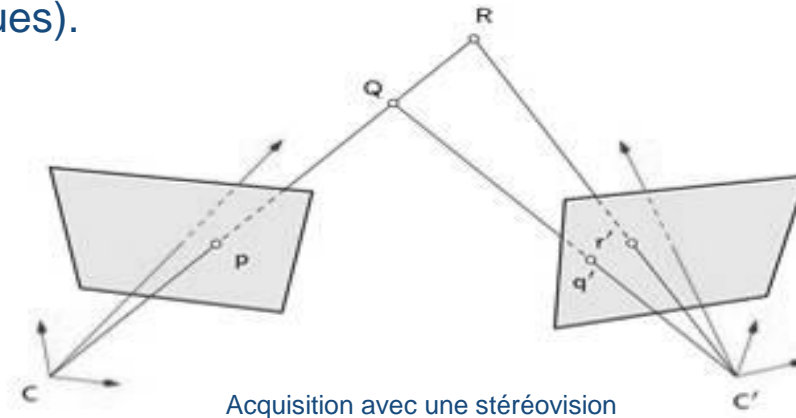
## Ch3: Localisation tridimensionnelle des objets

- Construction de la carte de disparité
- Localisation des objets
- Calcul de profondeur

# Système de vision binoculaire

## ≡ Triangulation

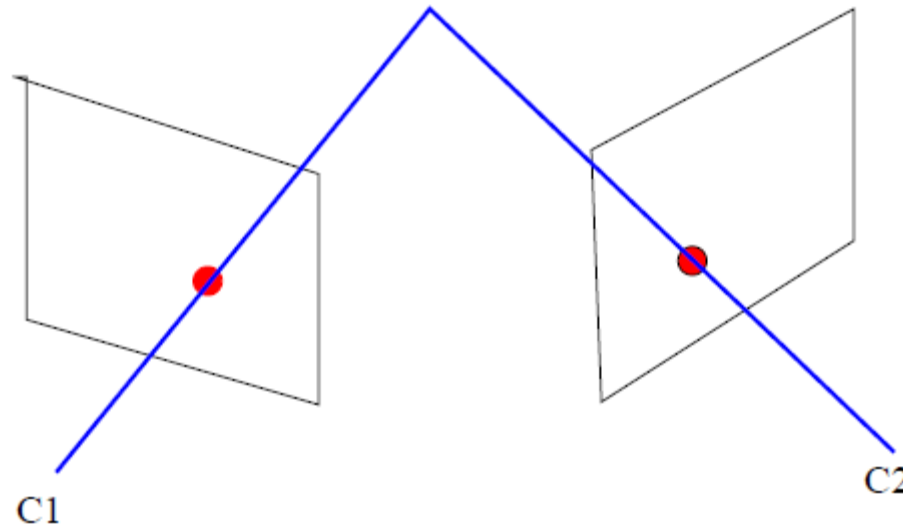
- **Triangulation** : Calculer les coordonnées 3-D des points à partir de leurs deux projections dans les images droite et gauche (points homologues).



- **Problème** : Comment trouver les deux points de projection homologues correspondant au même point de la scène routière ?

# Système de vision binoculaire

## ≡ Triangulation



- Trois étapes:
  - calibration: détermination de la configuration géométrique entre les capteurs: Rotation + translation.
  - Trouver les zones semblables entre les deux images: processus d'appariement
  - Reconstruction stéréo: à partir des coordonnées images des primitives, calculer  $(X,Y,Z)$  par Triangulation

## ≡ Triangulation

$$D = \frac{b(\alpha \cos \theta - (v_r - v_o) \sin \theta)}{d}$$

$d$  : Disparité

$V_r$  : Ordonnée du contact de l'obstacle avec la chaussée

$V_o$  : Ordonnée de la projection du centre optique

$b$  : Base de la stéréovision

$\alpha = f / t$  avec  $f$  est la distance focale et  $t$  la largeur d'un pixel

$\theta$  : Angle d'inclinaison de la caméra.



# **Traitement d'images & vision 3D**

## ***Chapitre 2 : Mise en correspondance stéréoscopique***

## ☰ Ch1 : Système de vision binoculaire

- Modélisation d'une caméra
- Géométrie projective, matrice de caméra
- Géométrie épipolaire
- Rectification d'images
- Triangulation

## ☰ Ch2 : Mise en correspondance stéréoscopique

- Défis de la mise en correspondance
- Éléments constitutants de la mise en correspondance
- Contraintes pour la mise en correspondance
- Classification des méthodes de mise en correspondance
- Techniques de mise en correspondance

## ☰ Ch3 : Localisation tridimensionnelle des objets

- Construction de la carte de disparité
- Localisation des objets
- Calcul de profondeur

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Appariement stéréoscopique

- ❑ L'étape de mise en correspondance stéréoscopique (MCS), ou appariement stéréoscopique, s'avère être une tâche délicate dont la qualité du résultat détermine directement la qualité de la reconstruction 3D
- ❑ Elle est facilitée par la **contrainte épipolaire** qui contraint la recherche du correspondant sur une droite et pas sur toute l'image

# Système de vision binoculaire

## ≡ Appariement stéréoscopique

- **Principe** : chercher parmi les points de l'image gauche, celui qui correspond le mieux à celui choisi dans l'image droite.



Image gauche

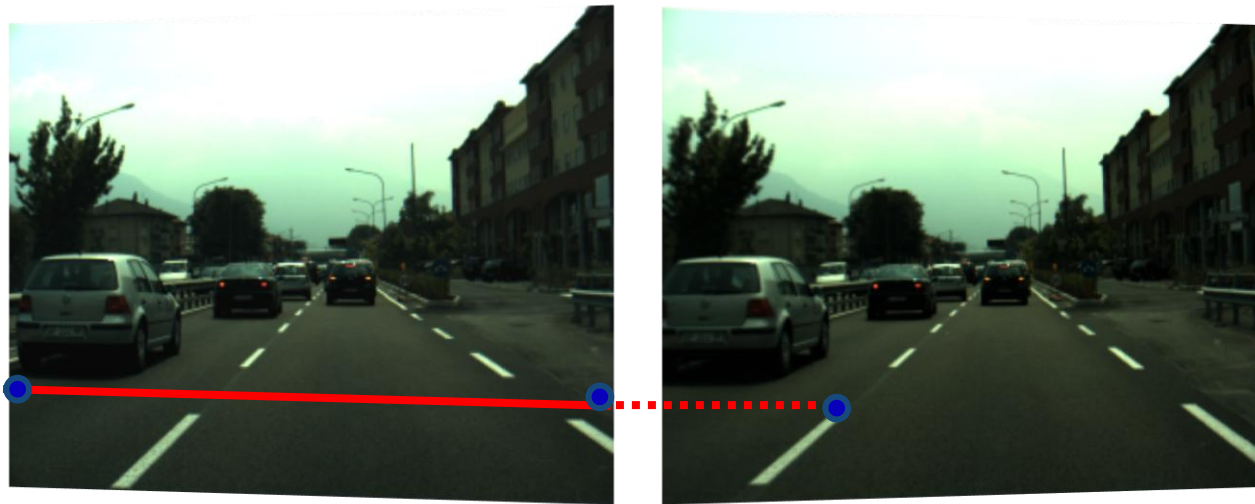


Image droite

# Système de vision binoculaire

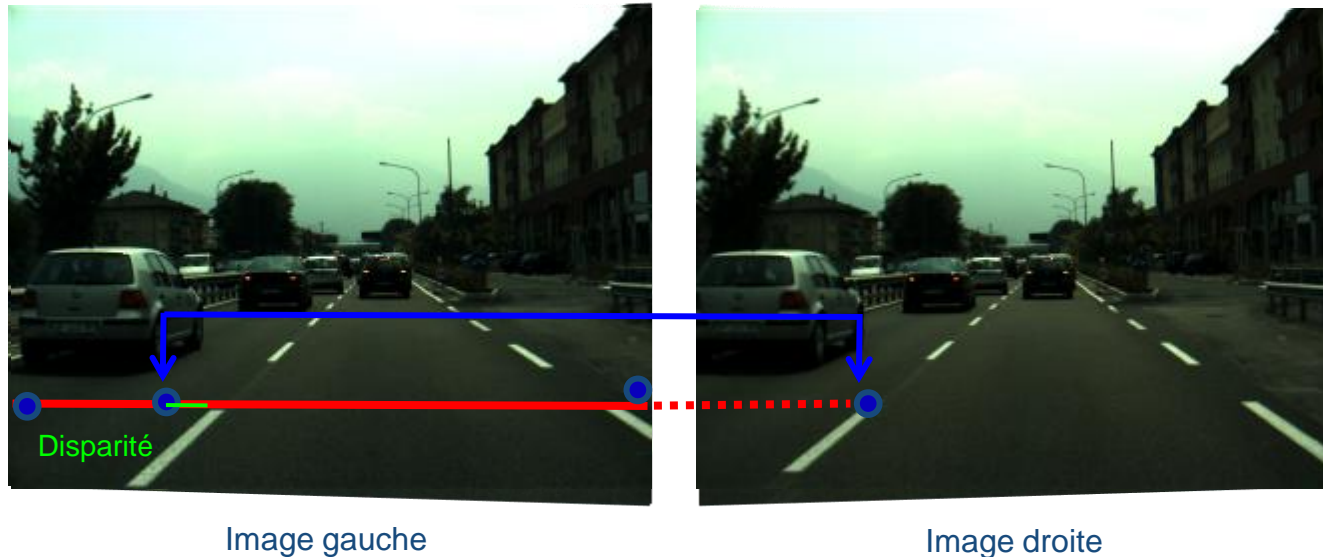
## ≡ Appariement stéréoscopique

- **Principe** : chercher parmi les points de l'image gauche, celui qui correspond le mieux à celui choisi dans l'image droite.



# Système de vision binoculaire

## Appariement stéréoscopique



- La disparité n'est pas un problème à dimension profonde ( $D$ ) du point de vue mono-dimensionnel.

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ≡ Appariement stéréoscopique



image de gauche d'Art



image de droite d'Art



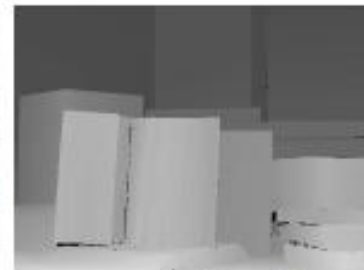
carte de disparité  
de référence



image de gauche de Books



image de droite de Books



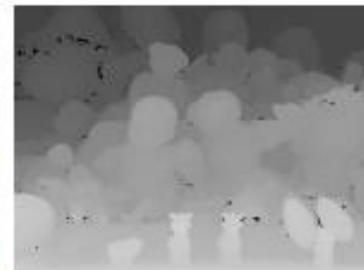
carte de disparité  
de référence



image de gauche de Dolls



image de droite de Dolls



carte de disparité  
de référence

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Appariement stéréoscopique

- ❑ L'appariement consiste à évaluer le degré de ressemblance entre un pixel de l'image gauche et un pixel de l'image droite.
- ❑ Etant donné que la mesure de ressemblance entre deux pixels n'est pas assez discriminante, elle est généralement évaluée sur les deux fenêtres centrées sur chaque pixel
- ❑ Le pixel à apparier de l'image gauche (si on considère que cette dernière est l'image de référence) a un ensemble de pixels candidats dans l'image droite.



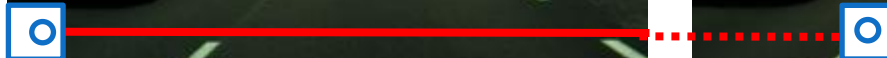
# Mise en correspondance stéréoscopique

## ≡ Appariement stéréoscopique

Image gauche



Image droite



# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Mesures de similarité

- ❑ Différentes mesures de similarité peuvent être appliquées à savoir :
  - Les mesures de distance et
  - les mesures de corrélation
  
- ❑ Les mesures de distance les plus utilisées sont la somme des différences absolues (*SAD*) et la somme des différences au carré (*SSD*)
  
- ❑ Les mesures de corrélation les plus utilisées sont la corrélation croisée normalisée (*NCC*) et la corrélation croisée normalisée centrée (*ZNCC*)

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ≡ Mesures de similarité

Nom	Formulation
SAD	$SAD(I, J, T) = \sum_{x \in \Omega}  I(x) - J(T(x)) $
SSD	$SSD(I, J, T) = \sum_{x \in \Omega} (I(x) - J(T(x)))^2$
ZSSD	$ZSSD(I, J, T) = \sum_{x \in \Omega} [(I(x) - \bar{I}(x)) - (J(T(x)) - \bar{J}(T(x)))]^2$
ZNSSD	$ZNSSD(I, J, T) = \frac{\sum_{x \in \Omega} [(I(x) - \bar{I}(x)) - (J(T(x)) - \bar{J}(T(x)))]^2}{\sum_{x \in \Omega} (I(x) - \bar{I}(x))^2 \cdot \sum_{x \in \Omega} (J(T(x)) - \bar{J}(T(x)))^2}$
NCC	$NCC(I, J, T) = \frac{\sum_{x \in \Omega} I(x) \cdot J(T(x))}{\sqrt{\sum_{x \in \Omega} I(x)^2} \cdot \sqrt{\sum_{x \in \Omega} J(T(x))^2}}$
ZNCC	$ZNCC(I, J, T) = \frac{\sum_{x \in \Omega} (I(x) - \bar{I})(J(T(x)) - \bar{J})}{\sqrt{\sum_{x \in \Omega} (I(x) - \bar{I})^2} \cdot \sqrt{\sum_{x \in \Omega} (J(T(x)) - \bar{J})^2}}$

- ZSSD : Somme des carrés des différences centrées
- ZNSSD : Somme des carrés des différences centrées normalisées

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Méthodes basées sur l'appariement

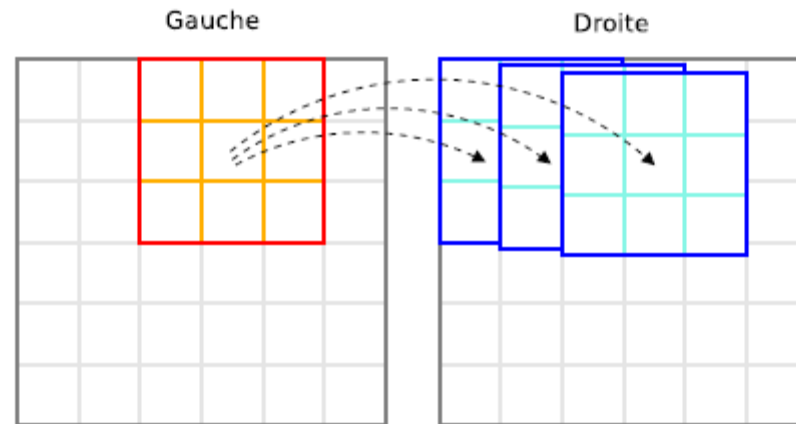
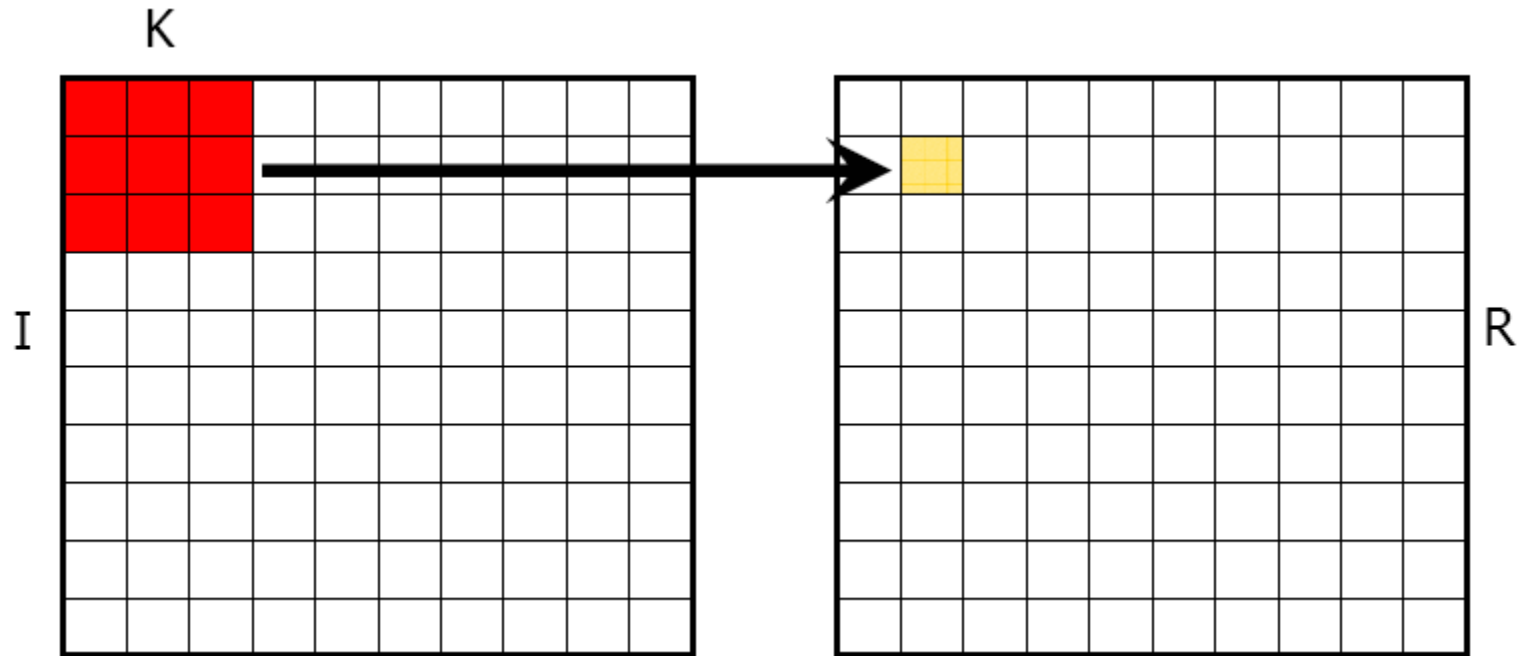


Figure 3.6 Calcul de disparité avec deux images

# Mise en correspondance stéréoscopique

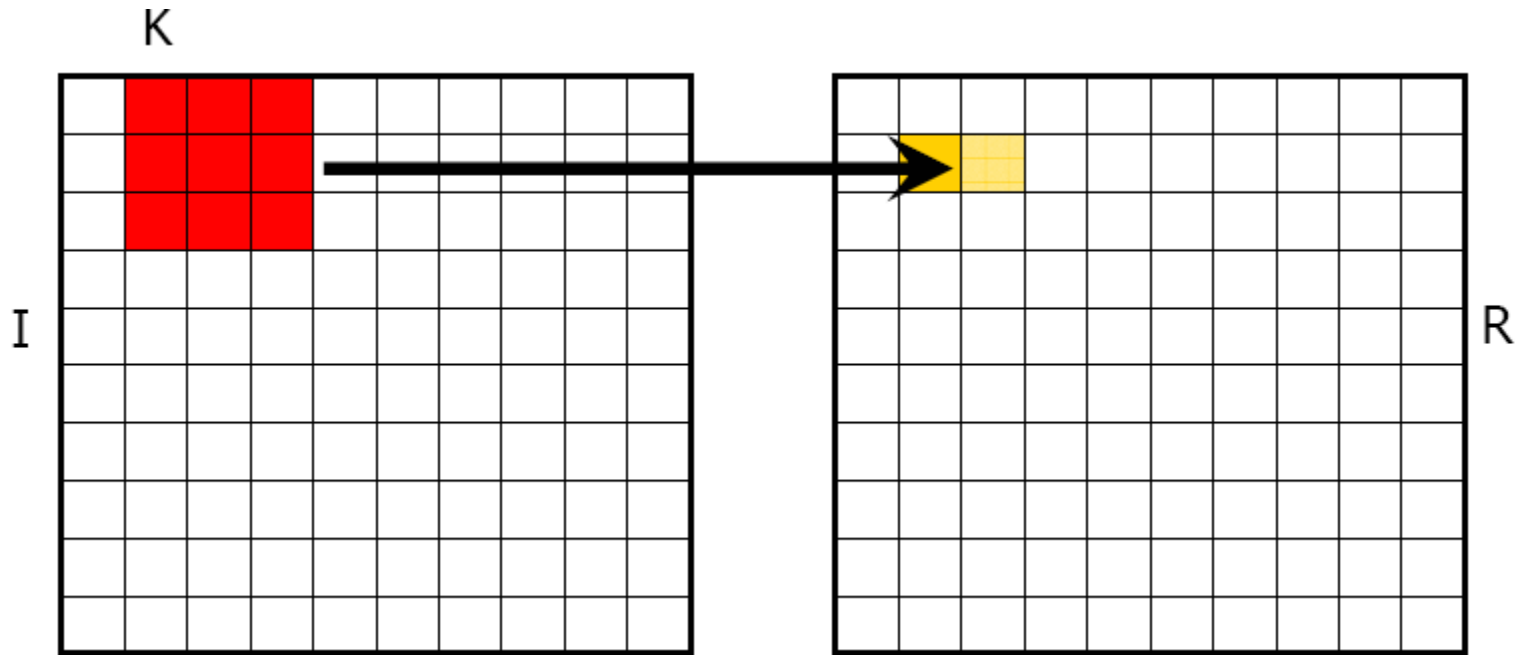
## Corrélation



30	10	20
10	250	20
25	10	30

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Méthodes basées sur un appariement dense



# Mise en correspondance stéréoscopique

## Mesures de similarité

- ❑ La *SAD* et la *SSD* sont des mesures simples, mais elles sont caractérisées par leur sensibilité aux variations de luminosité
- ❑ La *NCC* et la *ZNCC* sont des mesures complexes, néanmoins, la *NCC* est robuste en présence de variations de luminosité

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ≡ Appariement stéréoscopique

- ❑ A partir des pixels candidats, le pixel homologue qui sera retenu est celui qui optimise une certaine fonction de vraisemblance, appelée aussi score d'appariement ou mesure de similarité.
- ❑ Ainsi, une fois les pixels homologues sont retenus, le calcul de la différence de position entre eux, appelée disparité, donne par triangulation l'information de profondeur du point 3-D.



# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Défis de la mise en correspondance

- ❑ La MCS rencontre de nombreux défis à savoir :
  - Les occultations

Image gauche



Image droite



# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Défis de la mise en correspondance

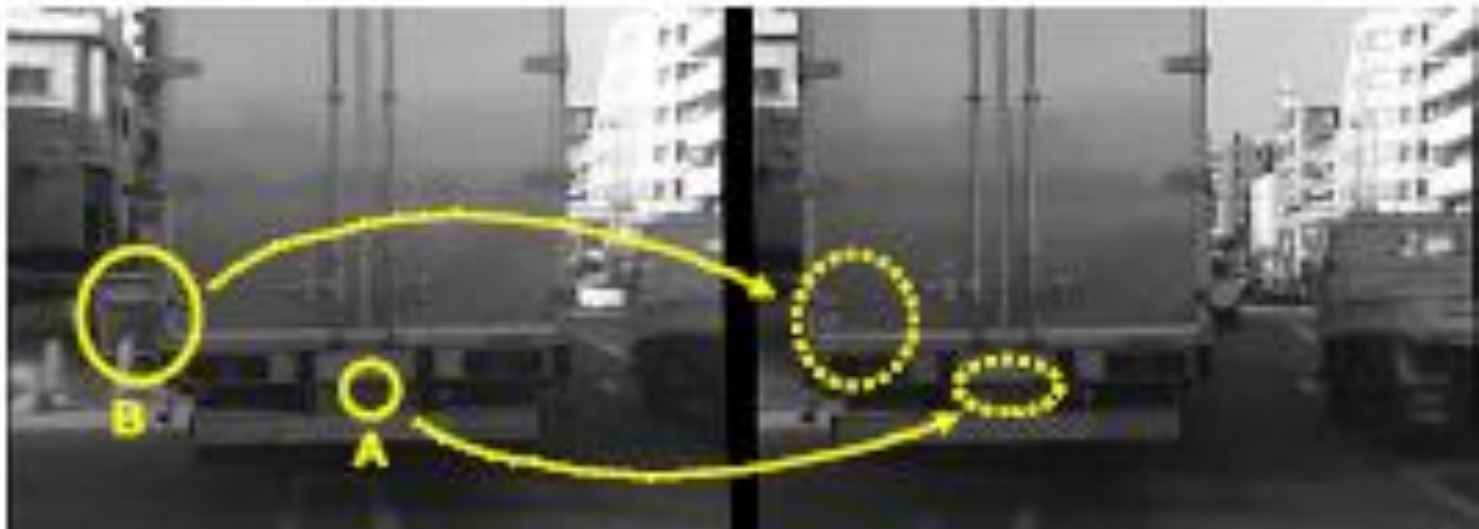
- ❑ La MCS rencontre de nombreux défis à savoir :
  - Le changement de luminosité entre les deux images



# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Défis de la mise en correspondance

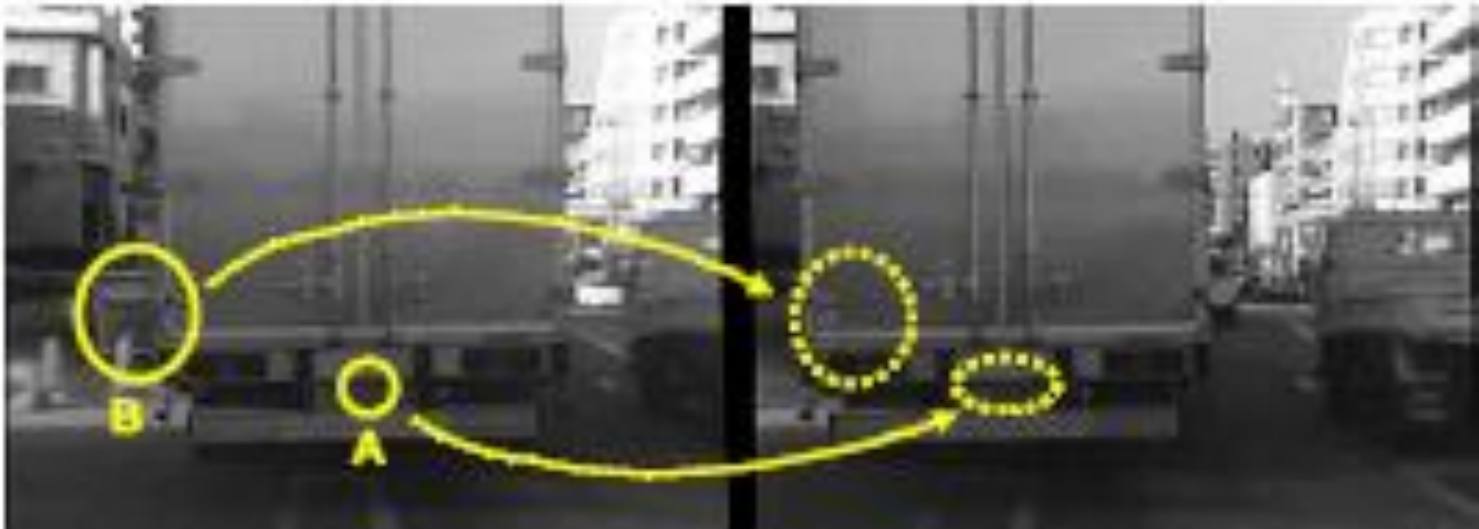
- ❑ La MCS rencontre de nombreux défis à savoir :
  - Les objets dont la surface est uniforme



# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Défis de la mise en correspondance

- ❑ La MCS rencontre de nombreux défis à savoir :
  - Le bruit dans les images



## ☰ Ch1 : Système de vision binoculaire

- Modélisation d'une caméra
- Géométrie projective, matrice de caméra
- Géométrie épipolaire
- Rectification d'images
- Triangulation

## ☰ Ch2 : Mise en correspondance stéréoscopique

- Défis de la mise en correspondance
- Éléments constitutants de la mise en correspondance
- Contraintes pour la mise en correspondance
- Classification des méthodes de mise en correspondance
- Techniques de mise en correspondance

## ☰ Ch3 : Localisation tridimensionnelle des objets

- Construction de la carte de disparité
- Localisation des objets
- Calcul de profondeur

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Éléments constitutants de la mise en correspondance

### ☐ Primitives à mettre en correspondance

- Les pixels de l'image

Comme les points d'intérêts. Leurs attributs sont la plupart du temps les niveaux de gris ou les composantes couleur.

- Les primitives structurées

- **Les segments** : Les attributs généralement utilisés sont : la position, l'orientation, la longueur, les niveaux de gris du segment, le contraste sur le segment et les relations avec les segments adjacents
- **Les contours** : La plupart du temps, les niveaux de gris, les composantes couleur ou les gradients des pixels qui forment le contour sont utilisés
- **Les régions** : Les attributs utilisés peuvent être les niveaux de gris ou les couleurs de la région, une mesure globale sur la région comme la variance des niveaux de gris

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ **Éléments constitutants de la mise en correspondance**

### ☐ **Le prétraitement des images**

Un traitement des images peut être effectué avant de chercher les correspondances, notamment pour tenter de supprimer le bruit

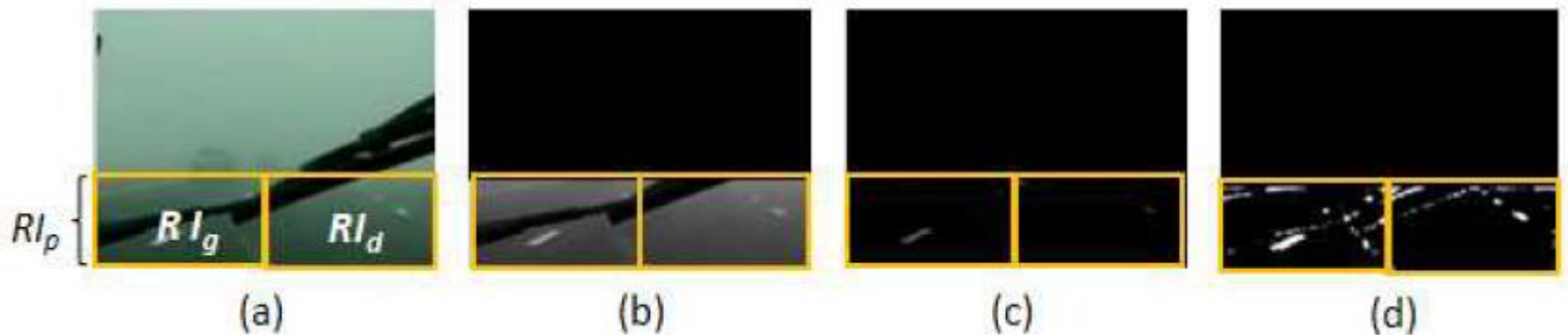
- Délimitation de la région d'intérêt
- Amélioration de la qualité de l'image
  - + Application d'un filtre linéaire ou non linéaire
  - + Transformation morphologique
  - + Accentuation du contraste des pixels

# Mise en correspondance stéréoscopique

## Eléments constitutants de la mise en correspondance

### □ Le prétraitement des images

Un traitement des images peut être effectué avant de chercher les correspondances, notamment pour tenter de supprimer le bruit



(a) Image originale, (b) filtrage, (c) Transformation du chapeau haut de forme, (d) amélioration du contraste



# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Éléments constitutants de la mise en correspondance

### ☐ Le coût global de mise en correspondance

- Lorsqu'un ensemble de correspondances entre primitives est établi, il est nécessaire de déterminer à quel point les contraintes sont satisfaites
- Pour cela, un coût global de mise en correspondance est associé à l'ensemble des correspondances

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ **Éléments constitutants de la mise en correspondance**

### ☐ **Le coût global de mise en correspondance**

Ce coût se compose de deux termes :

#### **Le coût de correspondance :**

Il s'agit de la somme des coûts locaux de toutes les correspondances

#### **Le coût des contraintes :**

Il quantifie le degrés de respect des contraintes prises en compte pour l'ensemble des correspondances. Il est constitué de la somme des coûts de voisinage

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ **Éléments constitutants de la mise en correspondance**

### ☐ **Le coût global de mise en correspondance**

#### **Le coût des contraintes (suite)**

La zone d'agrégation des contraintes peut être :

- Les quatre voisins
- Le pixel précédent

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Éléments constitutants de la mise en correspondance

### ☐ Le coût global de mise en correspondance

Par exemple :

Dans le cas où les primitives sont des pixels et où les niveaux de gris sont leurs attributs :

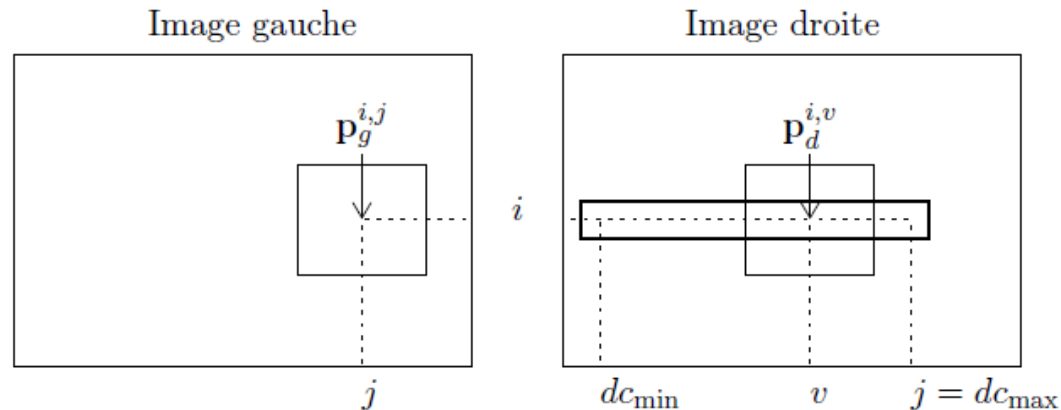
- le coût local peut consister en une simple fonction de la différence de niveaux de gris
- le coût de voisinage peut consister en la distance qui sépare le correspondant et le correspondant de l'un des pixels voisins

# Mise en correspondance stéréoscopique

## Eléments constitutants de la mise en correspondance

### La zone de recherche

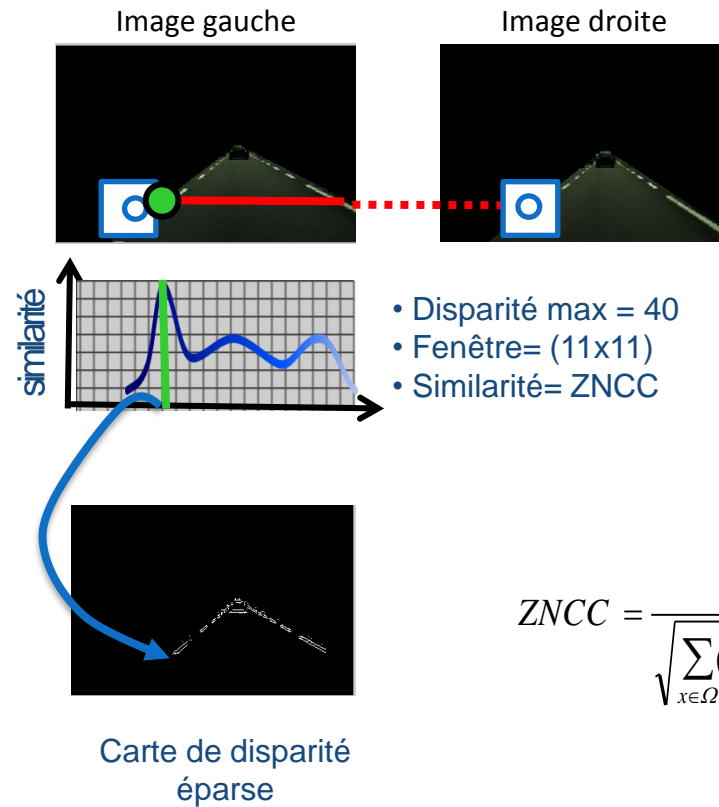
Elle est associée à chaque primitive dont on cherche le correspondant et est constituée des primitives candidates



# Mise en correspondance stéréoscopique

## Eléments constitutants de la mise en correspondance

### La zone de recherche



$$ZNCC = \frac{\sum_{x \in \Omega} (I(x) - \bar{I}) \times (J(T(x)) - \bar{J})}{\sqrt{\sum_{x \in \Omega} (I(x) - \bar{I})^2} \times \sqrt{\sum_{x \in \Omega} (J(T(x)) - \bar{J})^2}}$$

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ **Éléments constitutants de la mise en correspondance**

### ☐ **Les zones d'agrégation**

L'ensemble des primitives voisines aux primitives prises en compte

### ☐ **La méthode d'optimisation**

Il s'agit de la méthode utilisée pour trouver la valeur minimale des coûts locaux, et déterminer ainsi les couples de primitives retenues comme correspondantes

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Carte de disparité

- ❑ Une *carte de disparité* est construite à partir de l'appariement des deux images.
- ❑ Elle correspond à une représentation 3-D de l'image de référence où chaque pixel  $P_{cd}$  sera défini par trois composantes  $P_{cd}(x, y, d)$

avec  $x$  est sa coordonnée horizontale,  
 $y$  est sa coordonnée verticale et  
 $d$  sa disparité



# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Méthodes d'appariement

L'appariement des primitives peut être effectué soit par:

- Méthodes basées sur l'**appariement épars**
- Méthodes basées sur l'**appariement dense**

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Méthodes basées sur un appariement éparé

Les deux images sont d'abord prétraitées pour extraire des indices visuels discriminants (points d'intérêts, segments, régions) qui seront appariés et reconstruits

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>+ Traitement rapide.</li><li>+ Localisation efficace des obstacles proches de la stéréovision.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Nombre élevé de faux appariements.</li><li>- Fausses détections en cas de route non plane.</li><li>- Localisation non précise des obstacles lointains.</li><li>- Erreurs en présence de texture uniforme ou répétitive</li><li>- Erreurs en cas d'occultations</li><li>- Erreurs en cas de différences d'illumination</li></ul>

# Mise en correspondance stéréoscopique

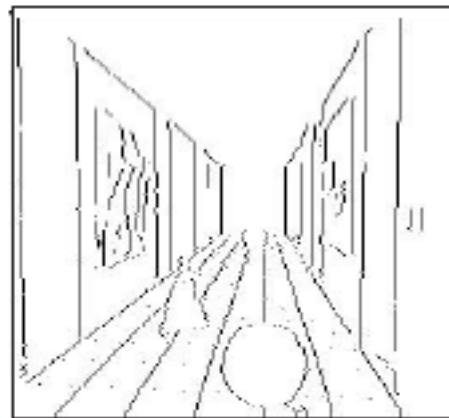
## ☰ Méthodes basées sur un appariement épars



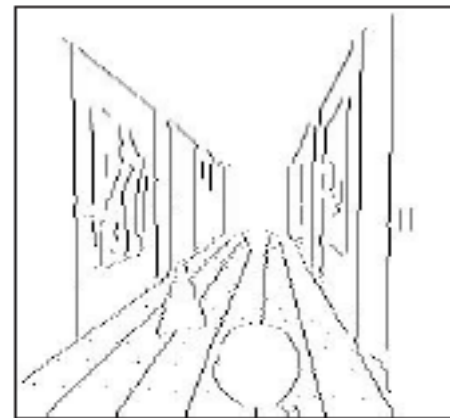
(a) Image gauche.



(b) Image droite.



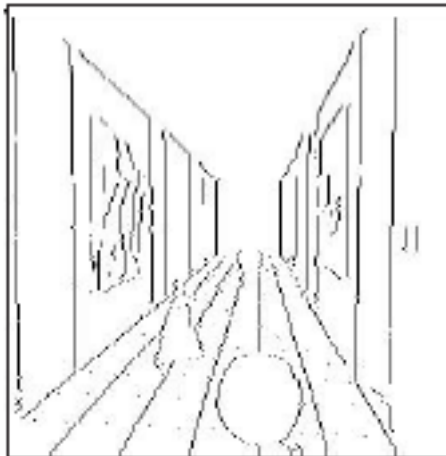
(a) Points de contour extraits de l'image gauche.



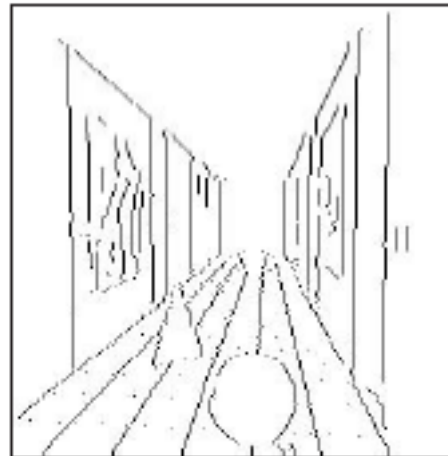
(b) Points de contour extraits de l'image droite.

# Mise en correspondance stéréoscopique

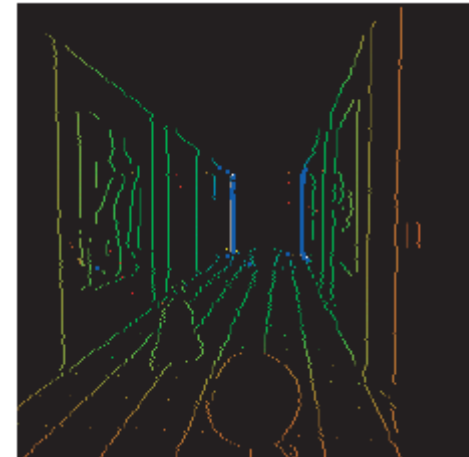
## ☰ Méthodes basées sur un appariement épar



(a) Points de contour extraits de l'image gauche.



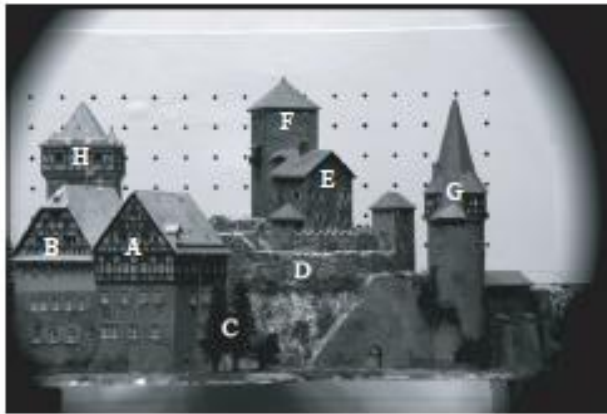
(b) Points de contour extraits de l'image droite.



loin  
près  
Distance par rapport  
au stéréoscope

# Mise en correspondance stéréoscopique

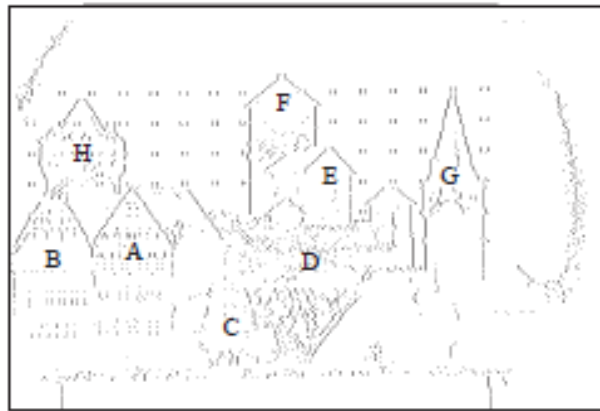
## ≡ Méthodes basées sur un appariement épars



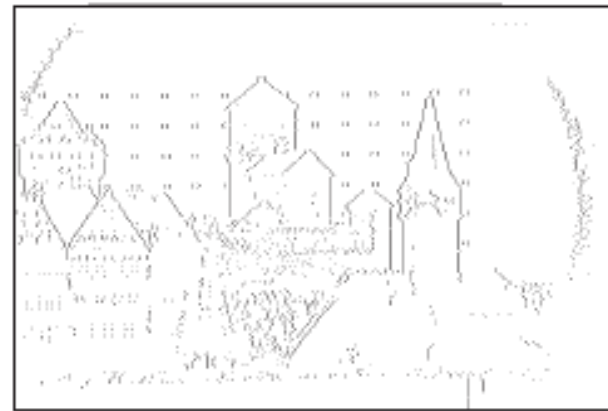
(a) Image gauche.



(b) Image droite.



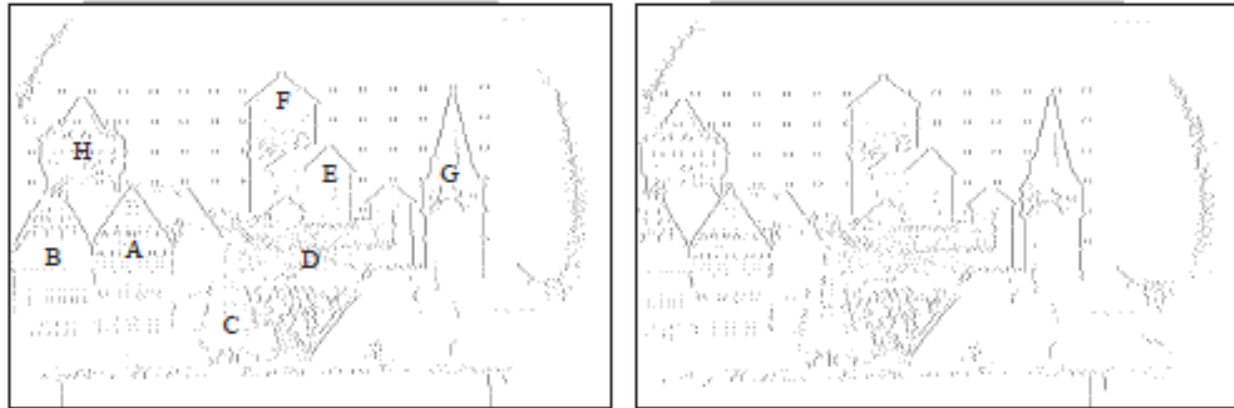
(a) Points de contour extraits de l'image gauche.



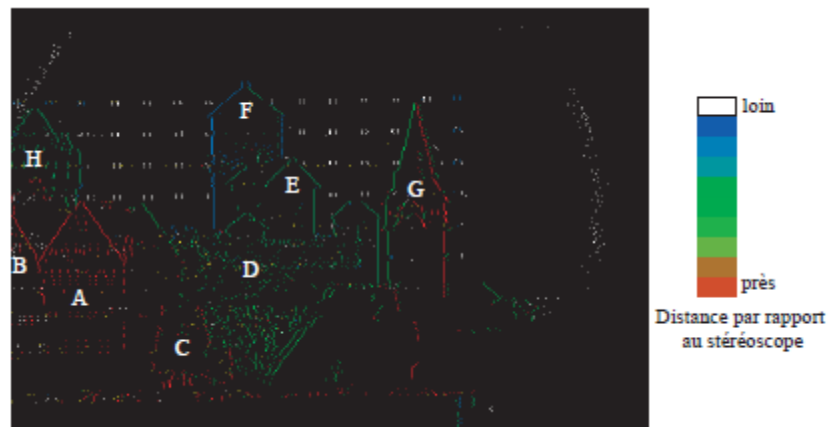
(b) Points de contour extraits de l'image droite.

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Méthodes basées sur un appariement épars



(a) Points de contour extraits de l'image gauche. (b) Points de contour extraits de l'image droite.



# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Méthodes basées sur un appariement dense

Tous les pixels sont appariés en exploitant une mesure de corrélation

Avantages	Inconvénients
+ Précision élevée d'appariement des pixels.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Traitement assez long.</li><li>- Fausses détection en cas de route non plane</li><li>- Erreurs d'appariements en cas d'occultations</li><li>- Erreurs d'appariements en cas de différences d'illumination.</li></ul>

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Méthodes basées sur un appariement dense



image de gauche d'Art



image de droite d'Art



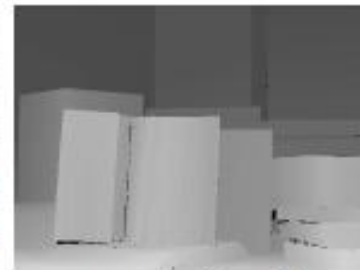
carte de disparité  
de référence



image de gauche de Books



image de droite de Books



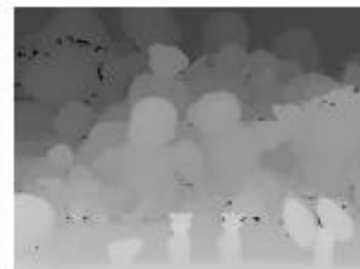
carte de disparité  
de référence



image de gauche de Dolls



image de droite de Dolls



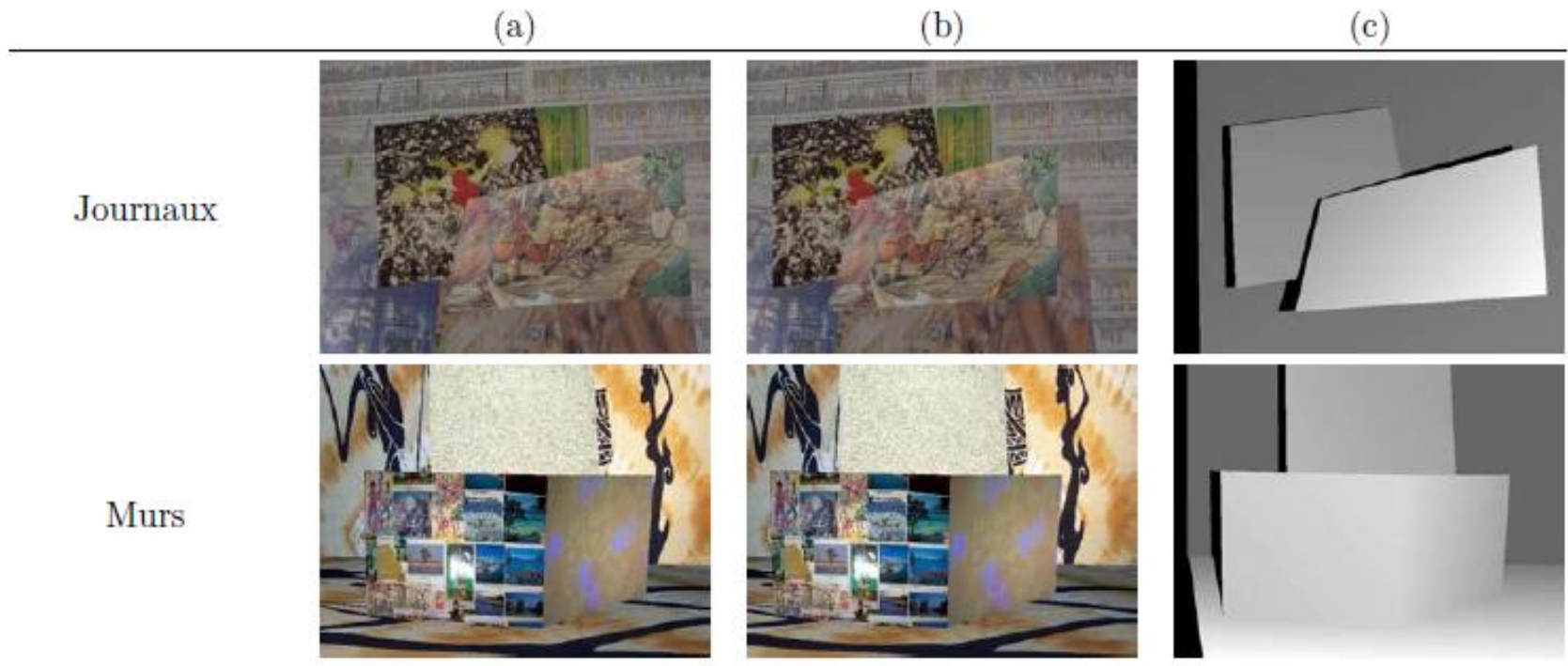
carte de disparité  
de référence



# Mise en correspondance stéréoscopique

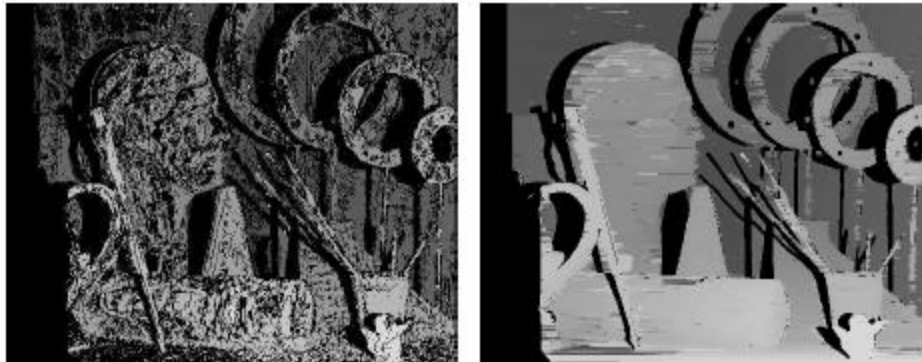
## Erreurs d'appariement

Les pixels noirs des cartes de disparités correspondent aux pixels occultés



# Mise en correspondance stéréoscopique

## ≡ Erreurs d'appariement



Diverses solutions ont été proposées dans la littérature afin de minimiser les erreurs d'appariements:

- ☐ seuillage des valeurs du score d'appariement
- ☐ vérification croisée des scores
- ☐ filtrage des pixels à apparier

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ≡ Erreurs d'appariement

### ❑ L'affinement des résultats

Après avoir établi les correspondances, les résultats peuvent aussi être traités, notamment pour tenter de corriger a posteriori d'éventuelles erreurs

### ❑ Les passages multiples

Les méthodes correspondantes effectuent plusieurs fois la mise en correspondance avec des méthodes différentes pour combiner les avantages de chacune

## ☰ Ch1 : Système de vision binoculaire

- Modélisation d'une caméra
- Géométrie projective, matrice de caméra
- Géométrie épipolaire
- Rectification d'images
- Triangulation

## ☰ Ch2 : Mise en correspondance stéréoscopique

- Défis de la mise en correspondance
- Éléments constitutants de la mise en correspondance
- Contraintes pour la mise en correspondance
- Classification des méthodes de mise en correspondance
- Techniques de mise en correspondance

## ☰ Ch3 : Localisation tridimensionnelle des objets

- Construction de la carte de disparité
- Localisation des objets
- Calcul de profondeur

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Contraintes pour la mise en correspondance

- ❑ Pour réduire la complexité des algorithmes de mise en correspondance, donc réduire le temps de calcul, plusieurs contraintes peuvent être utilisées
- ❑ Une contrainte est une propriété liée à une correspondance qui découle d'hypothèses faites sur :
  - **La géométrie du capteur** : la principale contrainte utilisée est la contrainte épipolaire ou contrainte géométrique
  - **La géométrie de la scène** : Il s'agit des contraintes d'unicité, d'ordre et de symétrie appelés les contraintes de compatibilité
  - **La réflectance de la surface** des objets ainsi que le type et la position de la source lumineuse

# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Contraintes pour la mise en correspondance

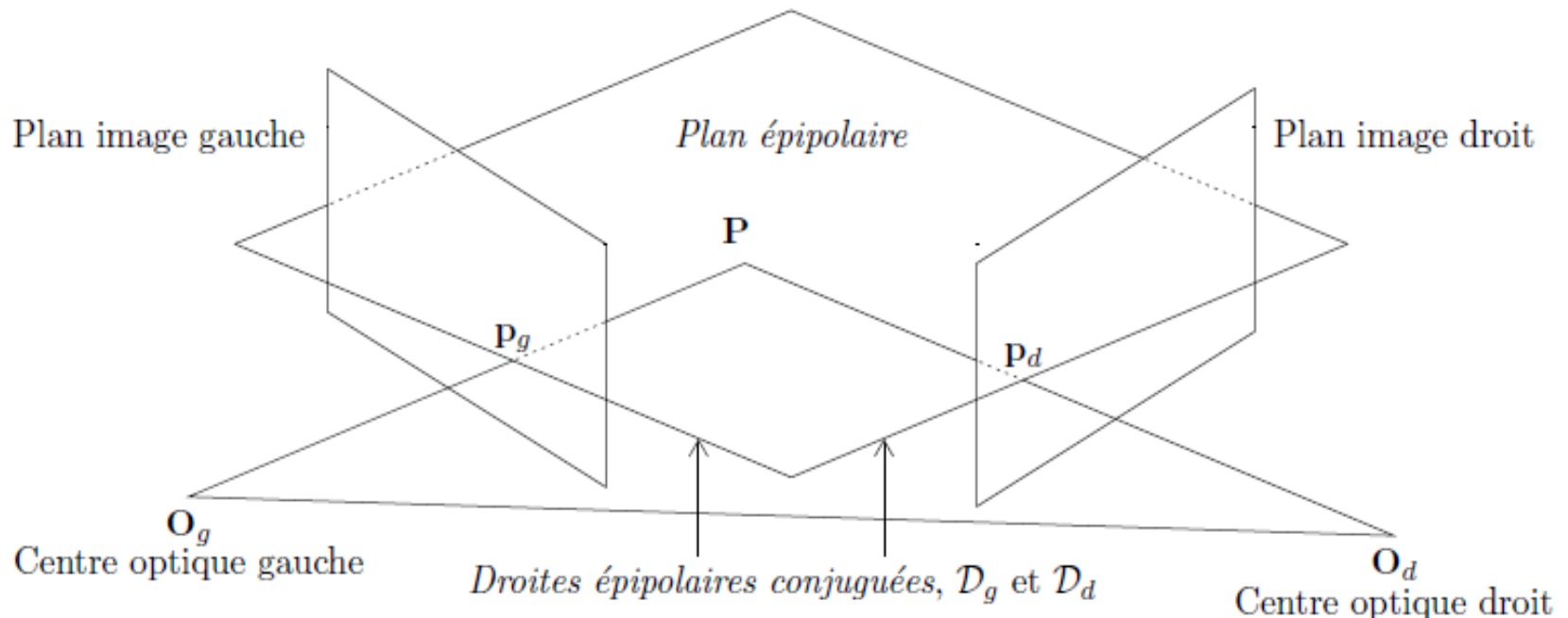
- ❑ Les buts de l'utilisation de ces contraintes sont :
  - La limitation du nombre de correspondants potentiels pour chaque pixel ;
  - Le choix entre plusieurs correspondants potentiels ;
  - La vérification et, le cas échéant, la suppression des correspondances

# Mise en correspondance stéréoscopique

## Contraintes pour la mise en correspondance

### □ Contrainte épipolaire

La contrainte épipolaire, contrainte géométrique, peut être utilisée pour faciliter la mise en correspondance en réduisant la zone de recherche

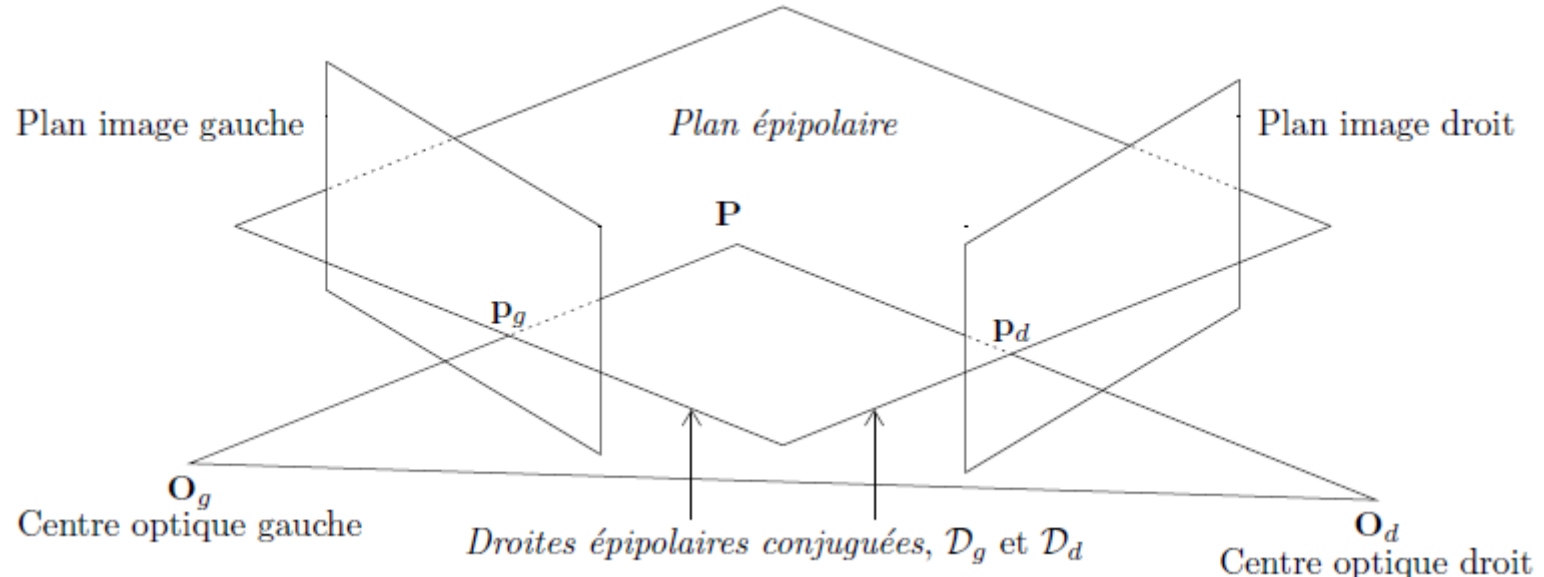


# Mise en correspondance stéréoscopique

## Contraintes pour la mise en correspondance

### □ Contrainte épipolaire

- Le correspondant  $P_d$  d'un point  $P_g$ , qui se trouve sur la droite épipolaire gauche  $D_g$ , se trouve nécessairement sur la droite  $D_d$ , image de  $D_g$  dans le plan droit
- La droite  $D_d$  étant la droite épipolaire associée au point  $P_g$





# Mise en correspondance stéréoscopique

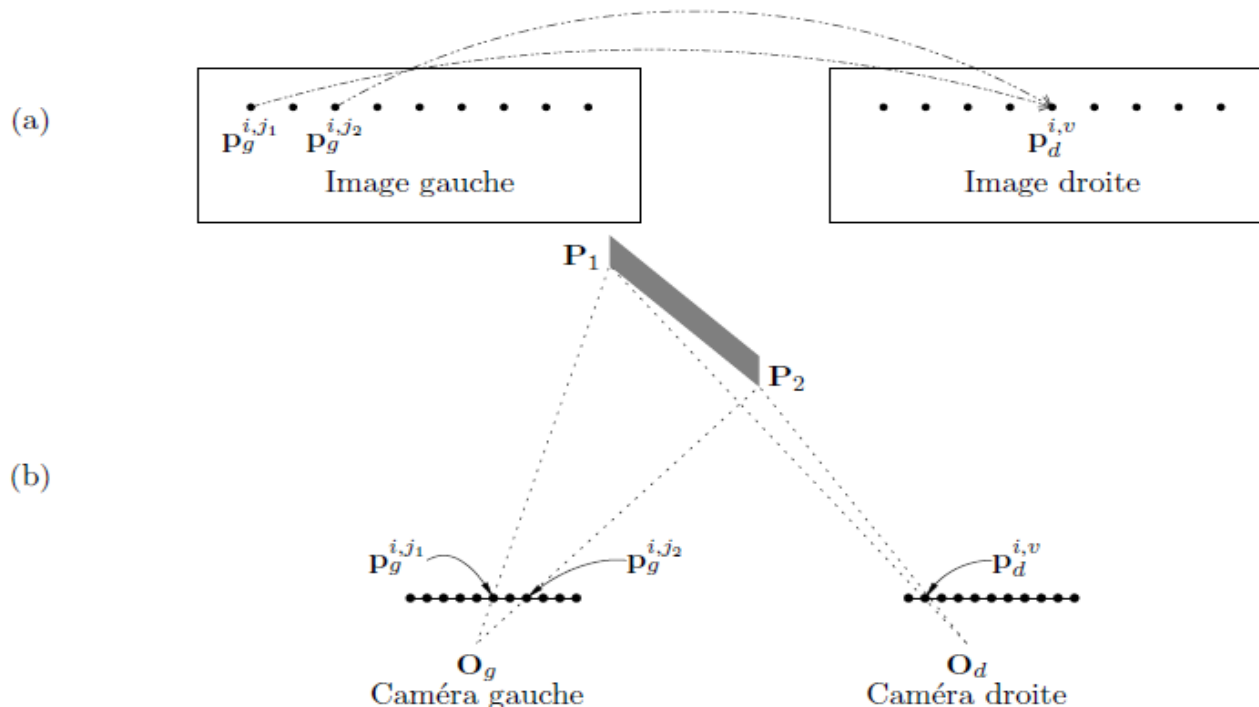
## Contraintes pour la mise en correspondance

### □ Contraintes de compatibilité > contrainte d'unicité

La contrainte d'unicité est définie par :

$$\text{Si } p_g^{i,j_1} + d(p_g^{i,j_1}) = p_d^{i,v} \text{ alors } \forall j_2 \neq j_1 \ p_g^{i,j_2} + d(p_g^{i,j_2}) \neq p_d^{i,v}$$

Si deux pixels ont le même correspondant  $\rightarrow$  la contrainte d'unicité n'est pas vérifiée



# Mise en correspondance stéréoscopique

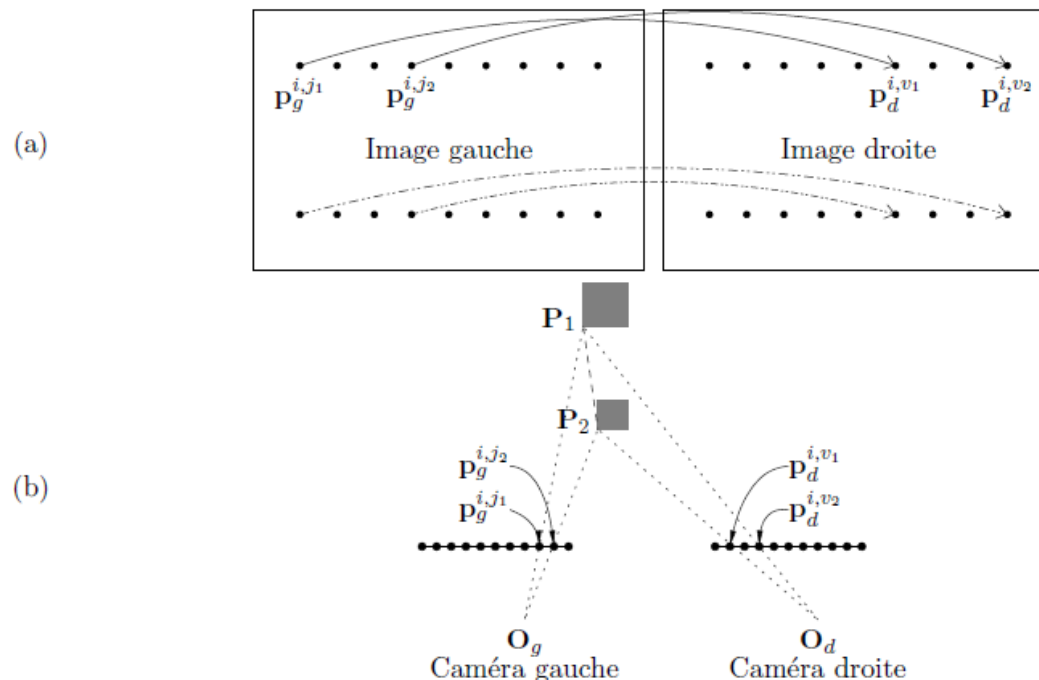
## Contraintes pour la mise en correspondance

### ❑ Contraintes de compatibilité > contrainte d'ordre

La contrainte d'ordre est définie par :

$$\text{Si } p_g^{i,j_1} + d(p_g^{i,j_1}) = p_d^{i,v_1} \text{ et } p_g^{i,j_2} + d(p_g^{i,j_2}) = p_d^{i,v_2} \text{ alors } (j_1 - j_2)(v_1 - v_2) \geq 0.$$

L'ordre des pixels de l'image gauche le long de la droite épipolaire doit être le même que celui de leurs correspondants



# Mise en correspondance stéréoscopique

## ☰ Contraintes pour la mise en correspondance

### ☐ Contraintes de compatibilité > contrainte de symétrie

- Un des affinements des résultats les plus employés est la vérification bidirectionnelle , qui met en œuvre la contrainte de symétrie

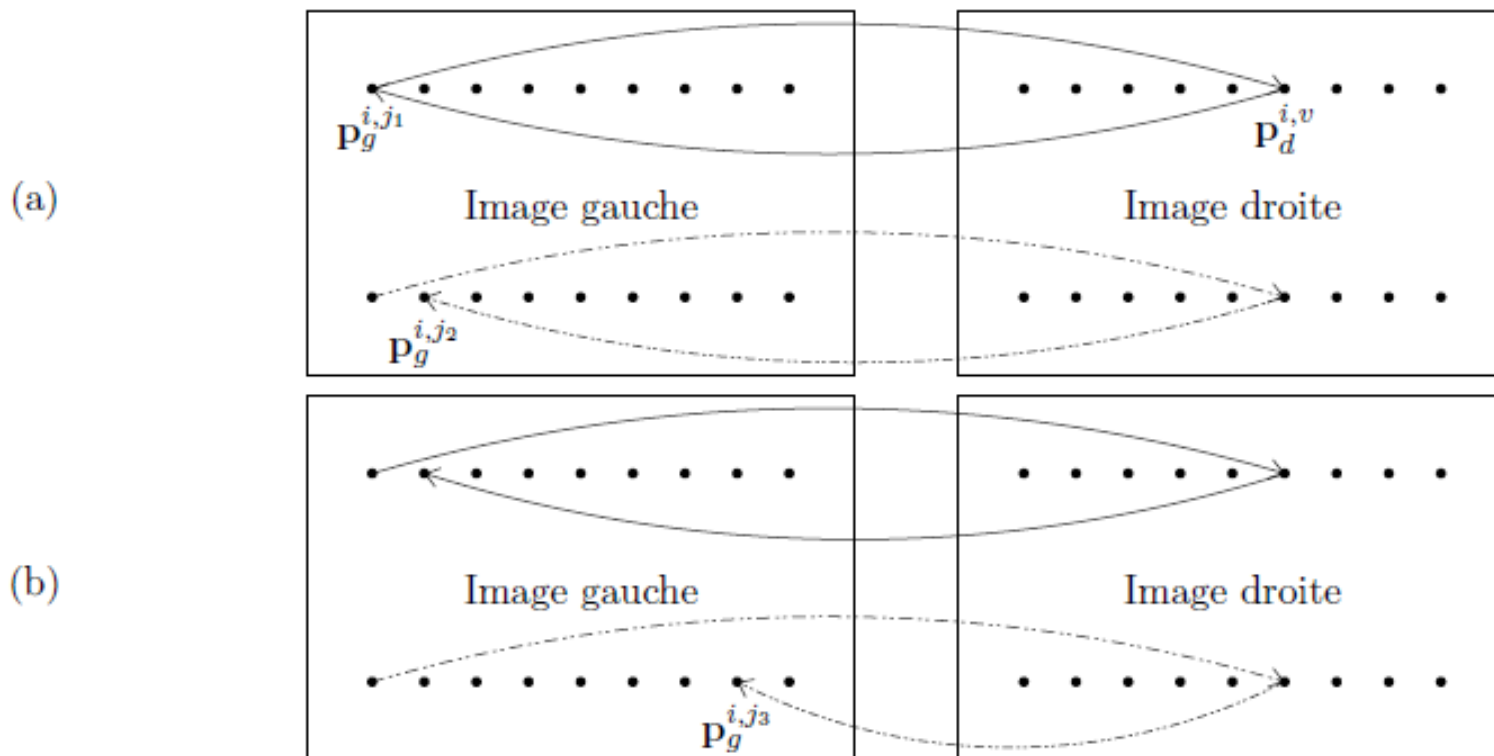
$$\text{Si } p_g^{i,j} + d(p_g^{i,j}) = p_d^{i,v} \text{ alors } p_d^{i,v} + d(p_d^{i,v}) = p_g^{i,j}$$

- Deux mises en correspondance sont effectuées, de la gauche vers la droite puis de la droite vers la gauche.
- Si un pixel **Pg(i, j)** a pour correspondant le pixel **Pd(i, v)**, alors, lors de la seconde mise en correspondance, **Pd(i, v)** doit avoir pour correspondant **Pg(i, j)**
- Si ce n'est pas le cas, la contrainte de symétrie n'est pas satisfaite

# Mise en correspondance stéréoscopique

## Contraintes pour la mise en correspondance

□ Contraintes de compatibilité > contrainte de symétrie



## ☰ Ch1 : Système de vision binoculaire

- Modélisation d'une caméra
- Géométrie projective, matrice de caméra
- Géométrie épipolaire
- Rectification d'images
- Triangulation

## ☰ Ch2 : Mise en correspondance stéréoscopique

- Difficultés de la mise en correspondance
- Éléments constitutants de la mise en correspondance
- Contraintes pour la mise en correspondance
- Classification des méthodes de mise en correspondance
- Techniques de mise en correspondance

## ☰ Ch3 : Localisation tridimensionnelle des objets

- Construction de la carte de disparité
- Localisation des objets
- Calcul de profondeur

# Mise en correspondance stéréoscopique

## **Classification des méthodes de mise en correspondance**

## Ch1 : Système de vision binoculaire

- Modélisation d'une caméra
- Géométrie projective, matrice de caméra
- Géométrie épipolaire
- Rectification d'images
- Triangulation

## Ch2 : Mise en correspondance stéréoscopique

- Difficultés de la mise en correspondance
- Éléments constitutants de la mise en correspondance
- Contraintes pour la mise en correspondance
- Classification des méthodes de mise en correspondance
- Techniques de mise en correspondance

## Ch3 : Localisation tridimensionnelle des objets

- Construction de la carte de disparité
- Localisation des objets
- Calcul de profondeur

## ☰ Ch1 : Système de vision binoculaire

- Modélisation d'une caméra
- Géométrie projective, matrice de caméra
- Géométrie épipolaire
- Rectification d'images
- Triangulation

## ☰ Ch2 : Mise en correspondance stéréoscopique

- Difficultés de la mise en correspondance
- Éléments constitutants de la mise en correspondance
- Contraintes pour la mise en correspondance
- Classification des méthodes de mise en correspondance
- Techniques de mise en correspondance

## ☰ Ch3 : Localisation tridimensionnelle des objets

- Construction de la carte de disparité
- Localisation des objets
- Calcul de profondeur



## Ch1 : Système de vision binoculaire

- Modélisation d'une caméra
- Géométrie projective, matrice de caméra
- Géométrie épipolaire
- Rectification d'images
- Triangulation

## Ch2 : Mise en correspondance stéréoscopique

- Difficultés de la mise en correspondance
- Éléments constitutants de la mise en correspondance
- Contraintes pour la mise en correspondance
- Classification des méthodes de mise en correspondance
- Techniques de mise en correspondance

## Ch3 : Localisation tridimensionnelle des objets

- Construction de la carte de disparité
- Localisation des objets
- Calcul de profondeur

## ☰ Ch1 : Système de vision binoculaire

- Modélisation d'une caméra
- Géométrie projective, matrice de caméra
- Géométrie épipolaire
- Rectification d'images
- Triangulation

## ☰ Ch2 : Mise en correspondance stéréoscopique

- Difficultés de la mise en correspondance
- Éléments constitutants de la mise en correspondance
- Contraintes pour la mise en correspondance
- Classification des méthodes de mise en correspondance
- Techniques de mise en correspondance

## ☰ Ch3 : Localisation tridimensionnelle des objets

- Construction de la carte de disparité
- Localisation des objets
- Calcul de profondeur