Camera Calibration

Présenté par:

EL-ADARISSI ABDELAZIZ

EN-NAHIL AISSAM

Encadré par:

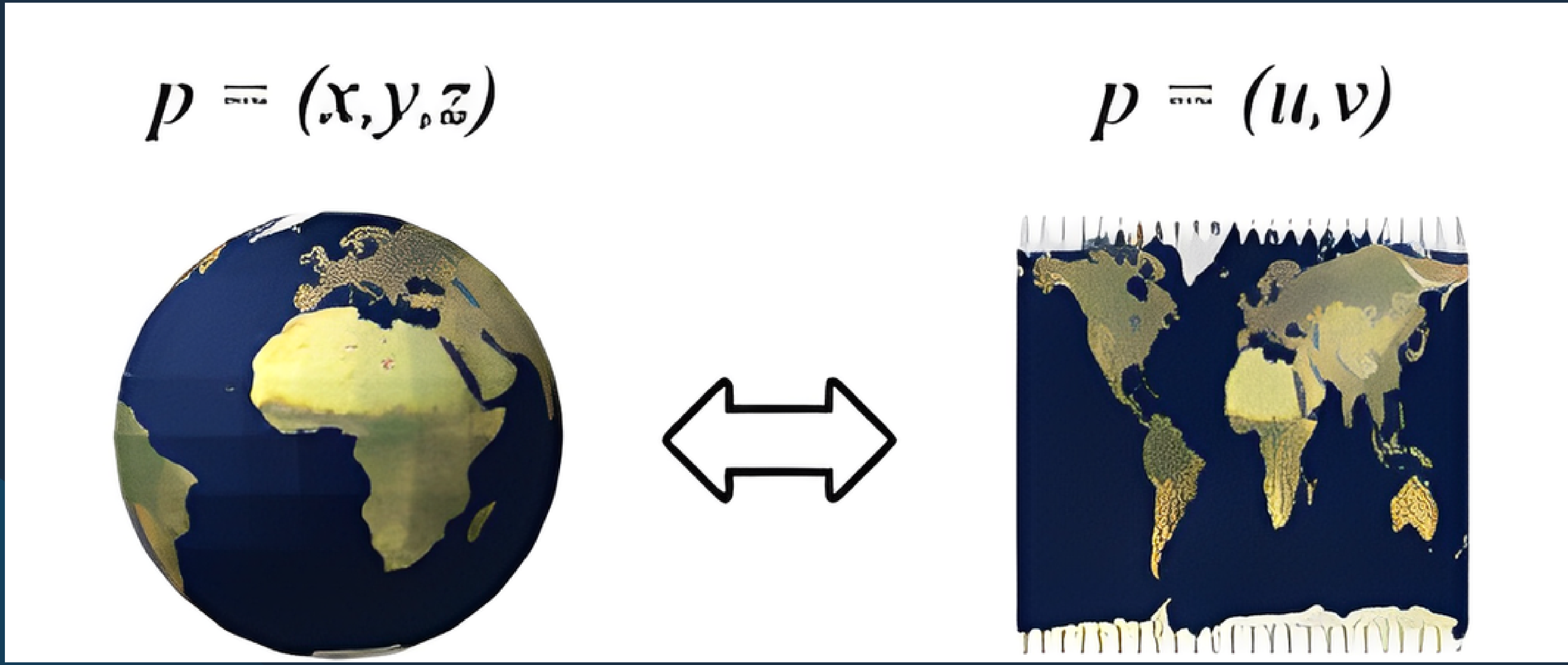
PROF. ALIBOUCH BRAHIM

PLAN

1. Introduction
2. Modélisation d'une camera perspective
3. Calibrage
4. introduction à la vision omnidirectionnel
5. Modélisation d'une camera omnidirectionnel
6. Conclusion

INTRODUCTION

LA CALIBRATION DE CAMÉRA EST LE PROCESSUS DE DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES INTRINSÈQUES ET EXTRINSÈQUES D'UNE CAMÉRA, QUI SONT NÉCESSAIRES POUR TRANSFORMER LES COORDONNÉES 3D D'UN OBJET DANS L'ESPACE EN COORDONNÉES 2D SUR UNE IMAGE



INTRODUCTION

LES PARAMÈTRES INTRINSÈQUES

- LES PARAMÈTRES INTRINSÈQUES DE LA CAMÉRA DÉCRIVENT LES PROPRIÉTÉS OPTIQUES DE LA CAMÉRA ELLE-MÊME, TELLES QUE LA DISTANCE FOCALE, LA DISTORSION DE L'OBJECTIF.

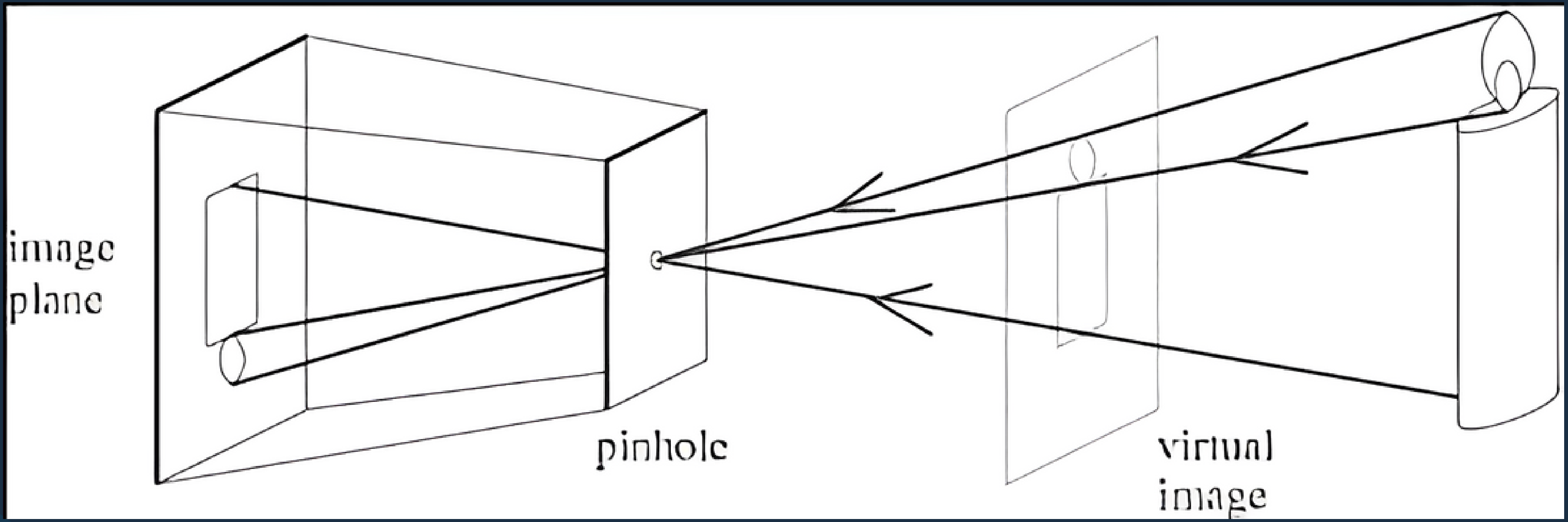
LES PARAMÈTRES EXTRINSÈQUES

- LES PARAMÈTRES EXTRINSÈQUES DÉCRIVENT LA POSITION ET L'ORIENTATION DE LA CAMÉRA PAR RAPPORT À LA SCÈNE.

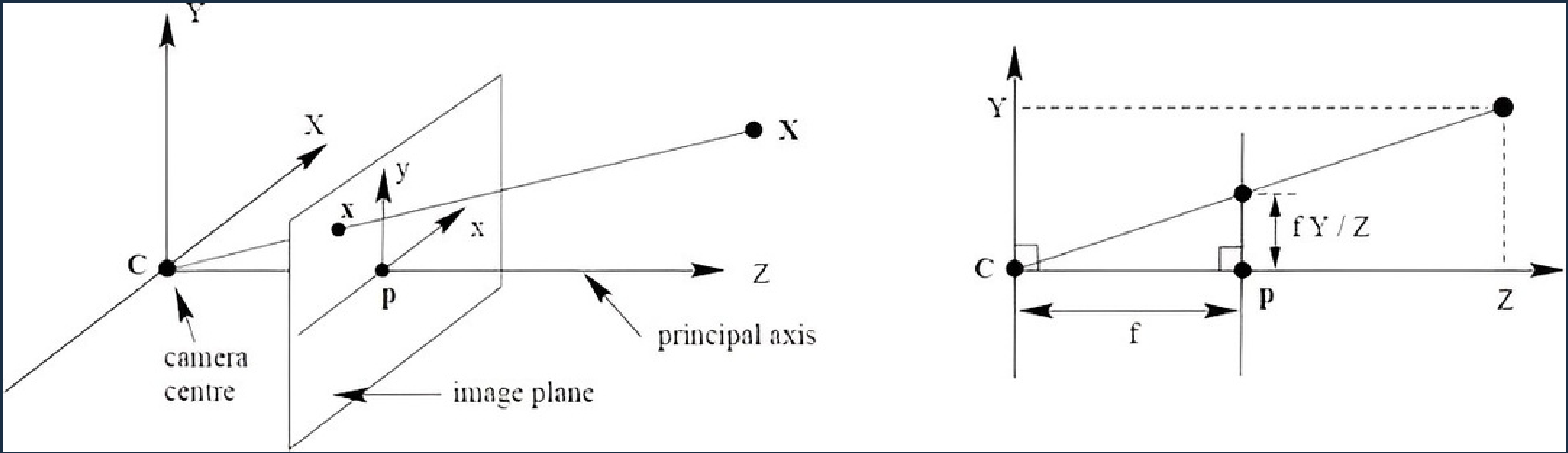
MODÉLISATION CAMERA PERSPECTIVE

PINHOLE MODEL

LE MODÈLE DE CAMÉRA LE PLUS SIMPLE EST LE MODÈLE PIN HOLE QUI DÉCRIT LA RELATION MATHÉMATIQUE DE LA PROJECTION DES POINTS DANS L'ESPACE 3D SUR UN PLAN D'IMAGE.



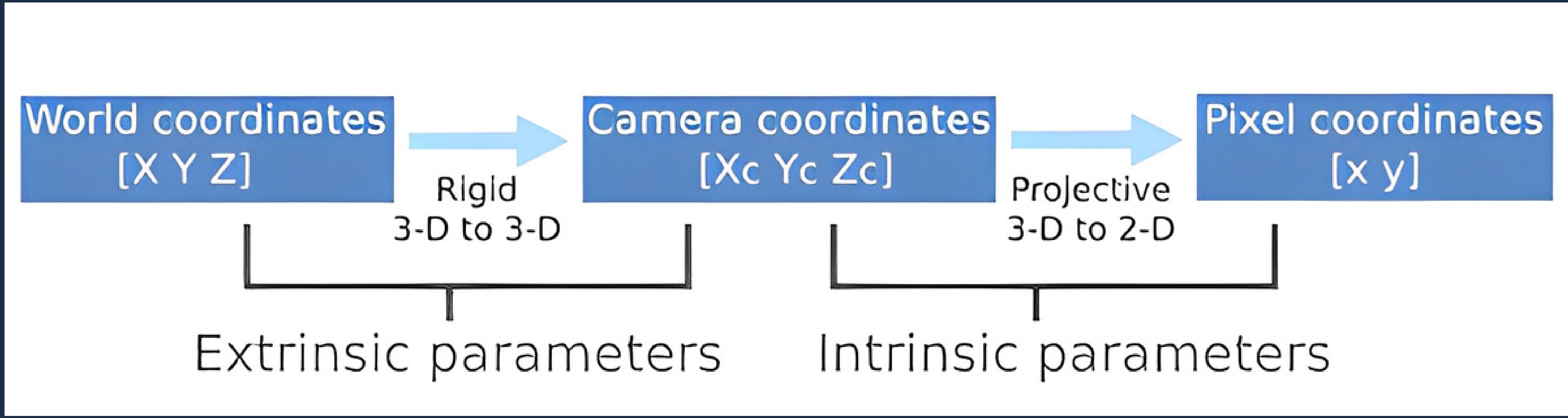
MODÉLISATION CAMERA PERSPECTIVE



$$\frac{x}{f} = \frac{X}{Z} => x = f.\frac{X}{Z}$$

$$\frac{y}{f} = \frac{Y}{Z} => y = f.\frac{Y}{Z}$$

MODÉLISATION CAMERA PERSPECTIVE



$$P_{cam_{3\times 4}} = [R|t]_{3\times 4} * P_{obj_{3\times 4}}$$

MODÉLISATION CAMERA PERSPECTIVE

UTILISER UNE LENTILLE POUR NOTRE CAMERA

SUPPOSONS QUE LA DISTANCE FOCALE DANS LA DIRECTION X ET LA DIRECTION Y EST RESPECTIVEMENT F_X ET F_Y.

NOUS POUVONS DONC UTILISER UN FACTEUR S QUI REPRÉSENTE LE NOMBRE DE PIXELS PAR UNITÉ DE LONGUEUR. NOUS ÉCRIVONS SF_X COMME f_x *ET SF_Y COMME* f_y

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x X/Z \\ f_y Y/Z \end{bmatrix}$$

MODÉLISATION CAMERA PERSPECTIVE

UTILISER UNE LENTILLE POUR NOTRE CAMERA

L'ORIGINE DE L'IMAGE NUMÉRIQUE DANS LE SYSTÈME DE COORDONNÉES DE L'IMAGE EST GÉNÉRALEMENT SITUÉE DANS LE COIN SUPÉRIEUR GAUCHE. PAR CONSÉQUENT, NOUS DEVONS TRADUIRE L'IMAGE EN UTILISANT UN VECTEUR (C_X, C_Y). CELA NOUS DONNE :

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x X/Z + c_x \\ f_y Y/Z + c_y \end{bmatrix}$$

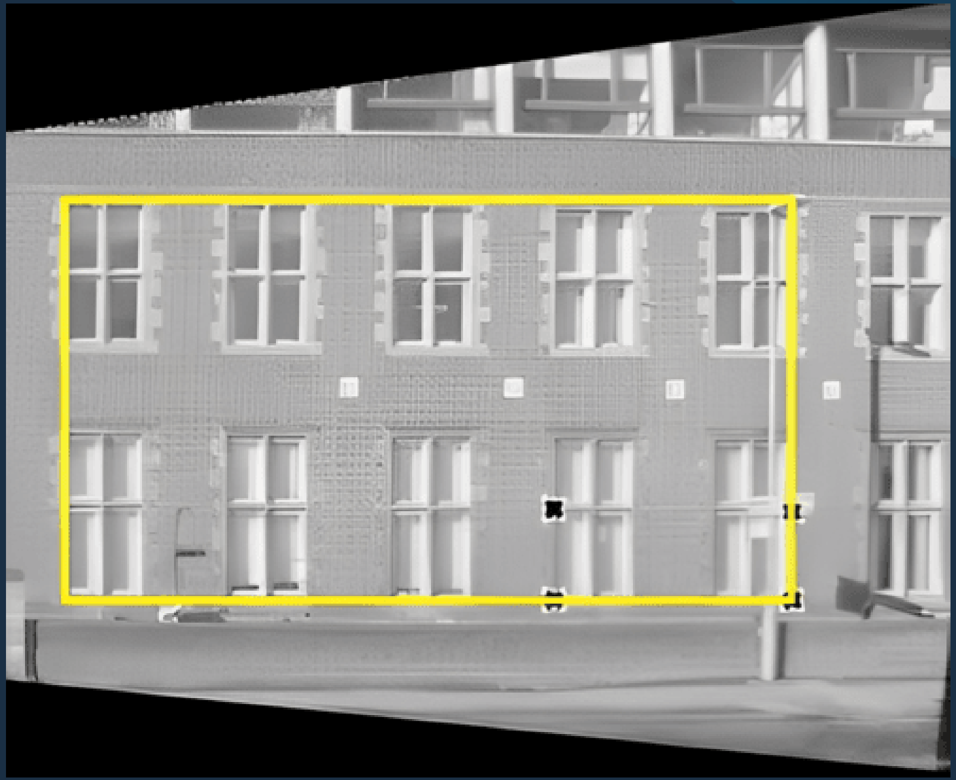
MODÉLISATION CAMERA PERSPECTIVE

SI NOUS CONVERTISSONS TOUTES LES COORDONNÉES EN COORDONNÉES HOMOGÈNES, NOUS POUVONS ÉCRIRE L'ÉQUATION CI-DESSUS À L'AIDE DE LA MULTIPLICATION DE MATRICES.

LA MATRICE K EST APPELÉE MATRICE INTRINSÈQUE, TANDIS QUE F_X, F_Y, C_X ET C_Y SONT LES PARAMÈTRES INTRINSÈQUES.

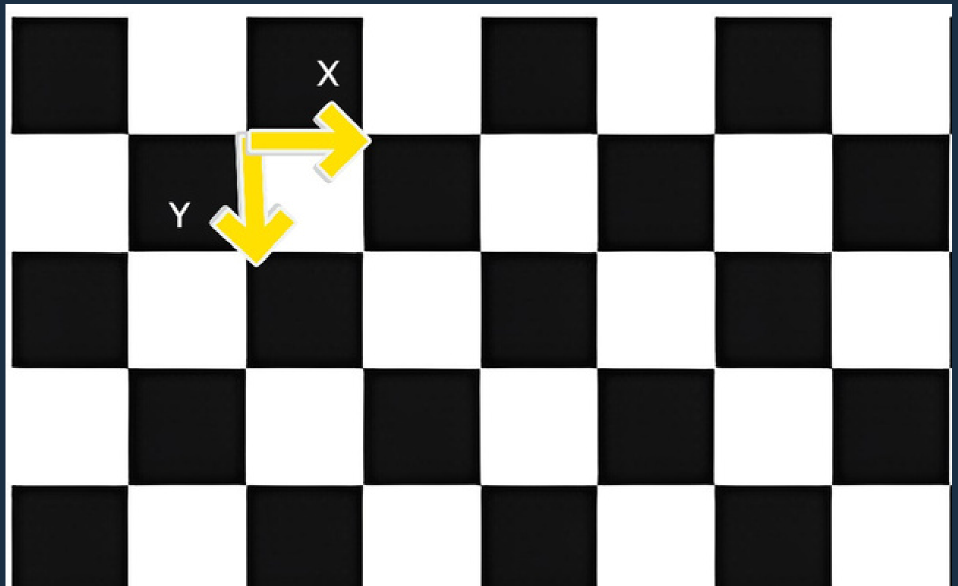
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

HOMOGRAPHY



CALIBRAGE
MÉTHODE DE ZHANG

La méthode de Zhang est une technique couramment utilisée pour la calibration de caméras en vision par ordinateur. Cette méthode permet de déterminer les paramètres intrinsèques et extrinsèques d'une caméra, tels que la focale, la distorsion radiale, les angles d'orientation et les positions de la caméra, à partir d'un ensemble de points 3D connus et de leurs projections 2D correspondantes dans l'image.



Z=0

CALIBRAGE

MÉTHODE DE ZHANG

$$p_{img} = K[R|T].P_{obj}$$

$$p_{img} = \lambda H.P_{obj}$$

$$\lambda H = K[R|T]$$

$$\lambda \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & t \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda K^{-1} h_1 \\ \lambda K^{-1} h_2 \\ \lambda K^{-1} h_3 \end{bmatrix}$$

CALIBRAGE
MÉTHODE DE ZHANG

Puisque r_1 et r_2 sont orthonormaux.

$$r_1^T r_2 = h_1 (K^{-1})^T K^{-1} h_2 = 0$$
$$and$$
$$r_1^T r_1 = r_2^T r_2 \implies h_1 (K^{-1})^T K^{-1} h_1 = h_2 (K^{-1})^T K^{-1} h_2$$

Nous allons introduire une nouvelle matrice B qui est définie comme le produit de la transposée de l'inverse de K avec l'inverse de K.

$$B = (K^{-1})^T K^{-1} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ B_{12} & B_{22} & B_{23} \\ B_{13} & B_{23} & B_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/f_x^2 & 0 & -c_x/f_x^2 \\ 0 & 1/f_y^2 & -c_y/f_y^2 \\ -c_x/f_x^2 & -c_y/f_y^2 & c_x/f_x^2 + c_y/f_y^2 + 1 \end{bmatrix}$$

CALIBRAGE

MÉTHODE DE ZHANG

Finalement, si l'on utilise des techniques mathématique, on obtient

$$c_y = (B_{12}B_{13} - B_{11}B_{23})/(B_{11}B_{22} - B_{12}^2)$$
$$\lambda = B_{33} - (B_{13}^2 + c_y(B_{12}B_{13} - B_{11}B_{23}))/B_{11}$$
$$f_x = \sqrt{\lambda/B_{11}}$$
$$f_y = \sqrt{\lambda B_{11}/(B_{11}B_{22} - B_{12}^2)}$$
$$c_x = -B_{13}f_x^2/\lambda$$

LA VISION OMNIDIRECTIONNEL

le terme vision omnidirectionnelle fait référence à des capteurs de vision ayant un champ de vision très large, ils sont des capteur avec un champ de vision horizontal de 360 degrés et un champ de vision vertical variable généralement compris entre 60 et 150 degrés.

LA VISION OMNIDIRECTIONNEL

Les capteurs omnidirectionnels peuvent être divisés en trois groupes principaux :

Panoramiques

n'utilisant qu'une seule caméra

œil composé (Compound-eye)

utilisant plusieurs caméras

LA VISION OMNIDIRECTIONNEL

Les capteurs omnidirectionnels peuvent être divisés en trois groupes principaux :

fish-eye

caméra conventionnelle
+
objectif fish-eye

à miroir convexe
(catadioptrique)

caméra conventionnelle
+
miroir

LA VISION OMNIDIRECTIONNEL

Les capteurs omnidirectionnels peuvent être divisés en trois groupes principaux :

- combine d'une caméra conventionnelle avec un miroir de révolution .

caméra conventionnelle

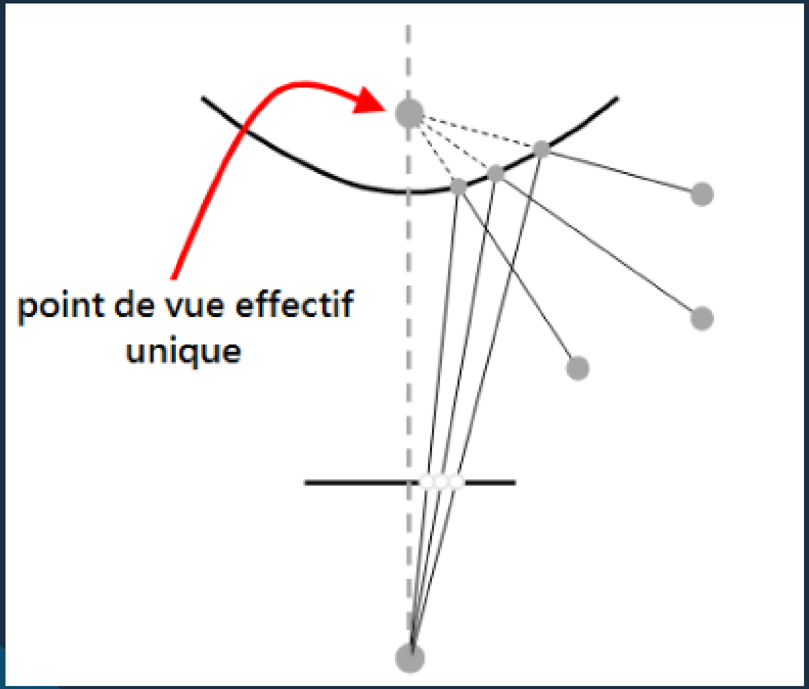
\+

miroir plan
miroir elliptique
miroir hyperbolique
miroir parabolique

miroir sphérique
miroir conique

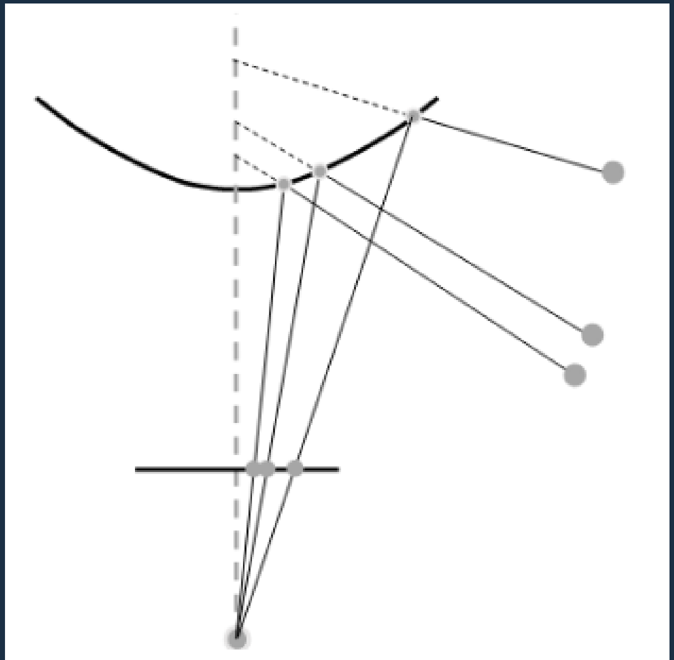
LA VISION OMNIDIRECTIONNEL

Il existe deux types des capteurs catadioptriques, centraux et non-centraux



Système de projection central

Les rayons se croisent en un point unique



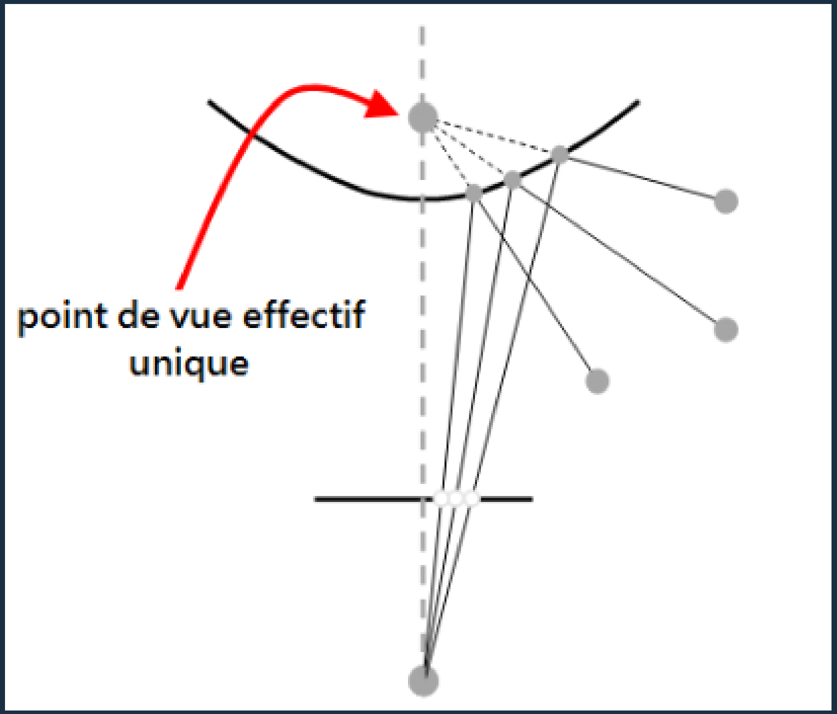
Système de projection non central

Les rayons ne se croisent pas en un point unique

LA VISION OMNIDIRECTIONNEL

Capteur catadioptrique central :

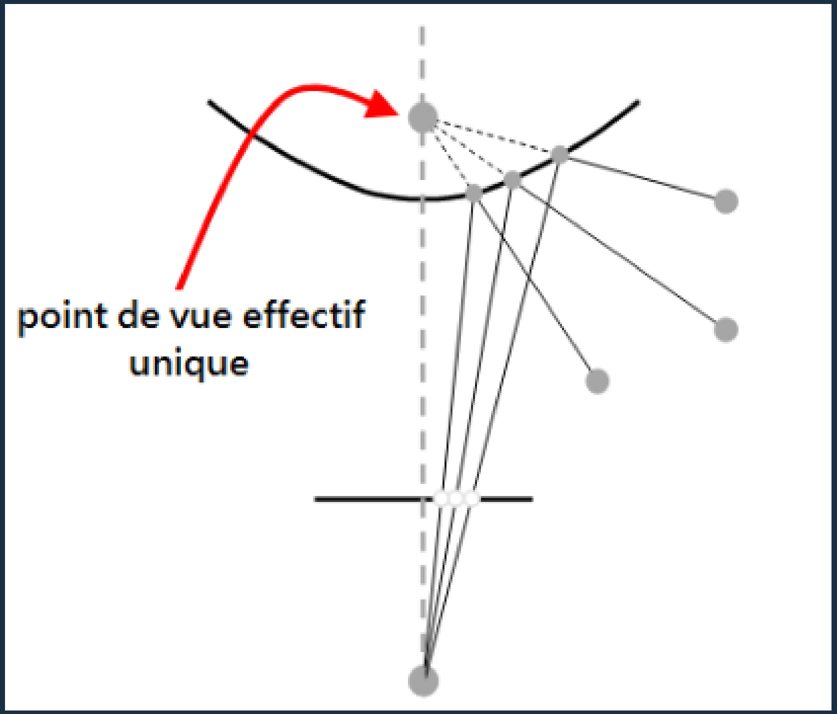
- possède un point de vue unique :



LA VISION OMNIDIRECTIONNEL

Capteur catadioptrique central :

- possède un point de vue unique :

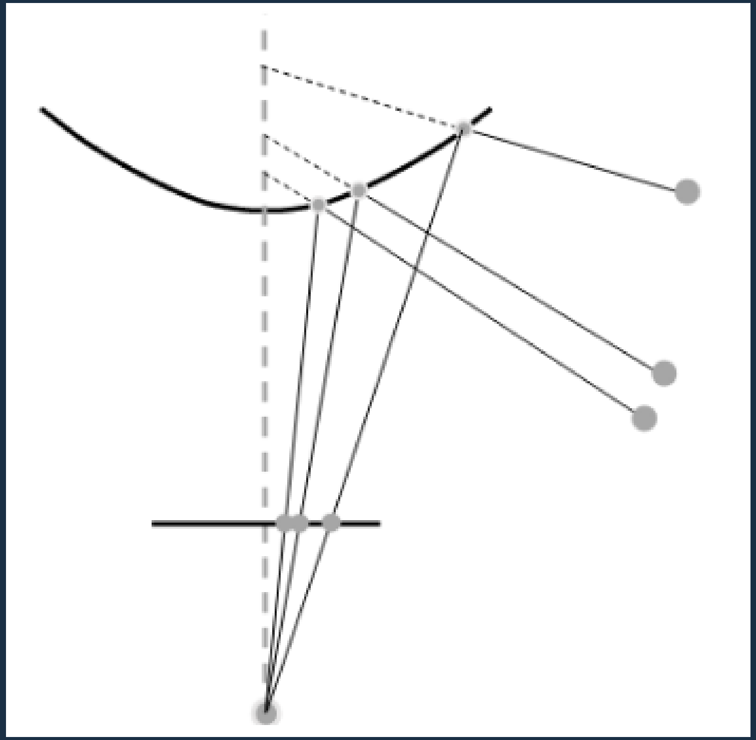


La propriété du point de vue unique est importante puisqu'elle facilite la modélisation et le calibrage des caméras

LA VISION OMNIDIRECTIONNEL

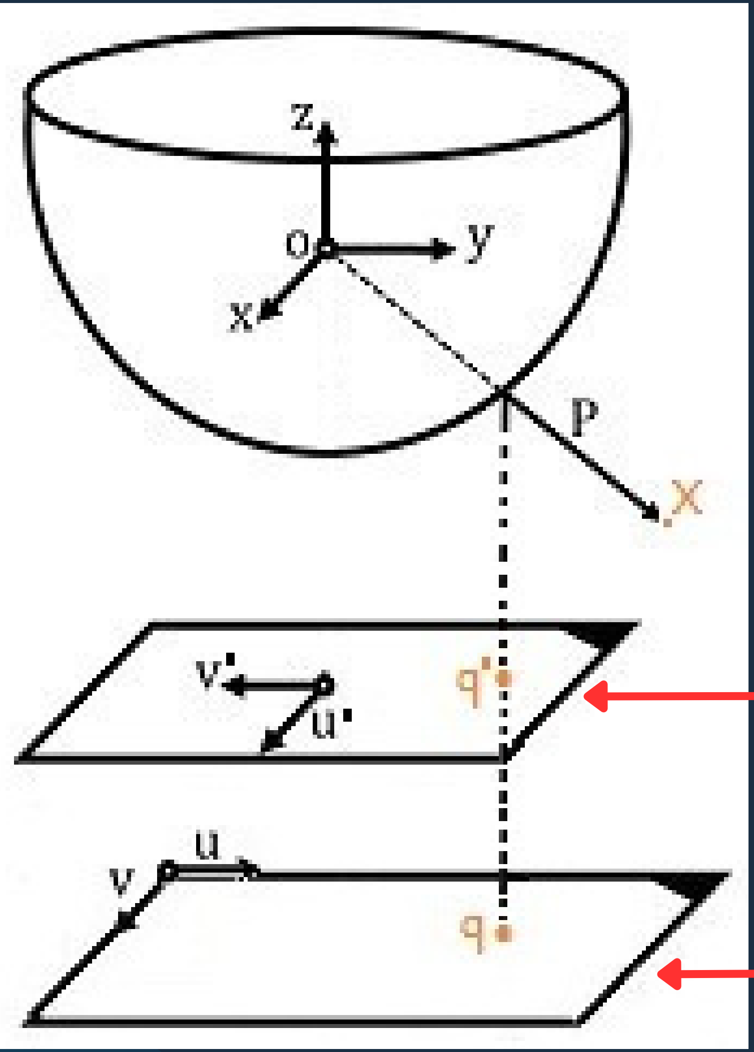
Capteur catadioptrique non central :

- a plus d'un centre de projection (plusieurs points de vue)



MODÉLISATION CAMERA CATADIOPTRIQUE

Système de coordonnées dans le cas catadioptrique :



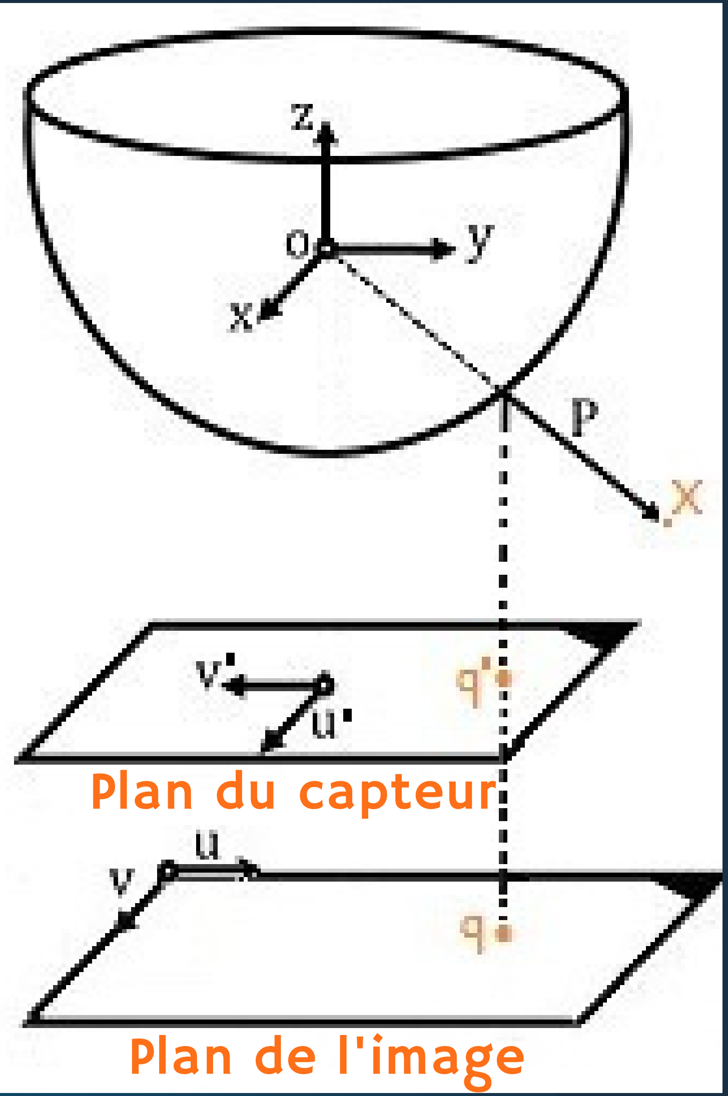
X est un point dans l'espace 3D

Plan du capteur

Plan de l'image

MODÉLISATION CAMERA CATADIOPTRIQUE

Système de coordonnées dans le cas catadioptrique :

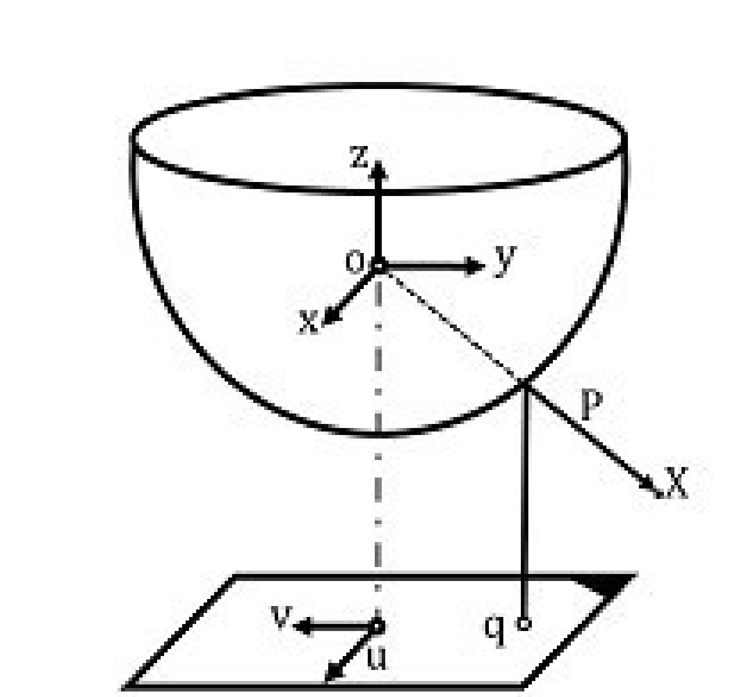


Le système de plan du capteur et le système de plan de l'image sont liés par une transformation affine :

$$q' = Aq + t$$

MODÉLISATION CAMERA CATADIOPTRIQUE

Système de coordonnées dans le cas catadioptrique :



Plan de l'image

X est un point dans l'espace 3D

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u \\ v \\ f(u,v) \end{bmatrix} = g(u,v)$$

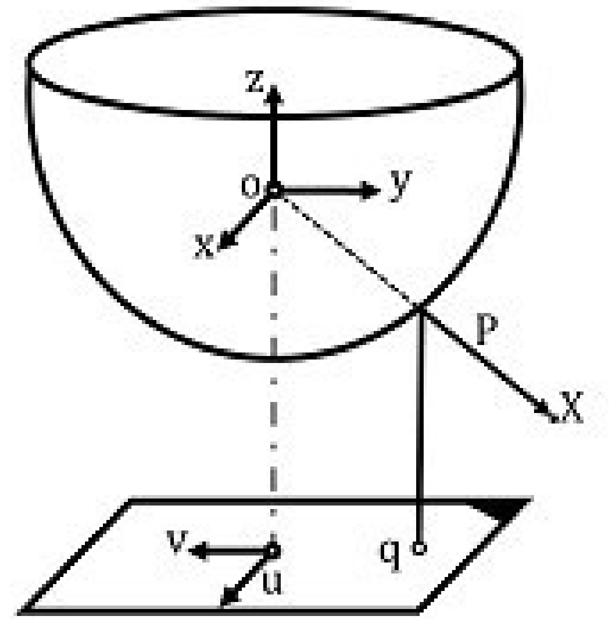
L'expression de X

la fonction f dépend de u et v à travers de ρ :

$$\rho = \sqrt{v^2 + u^2}$$

MODÉLISATION CAMERA CATADIOPTRIQUE

Système de coordonnées dans le cas catadioptrique :



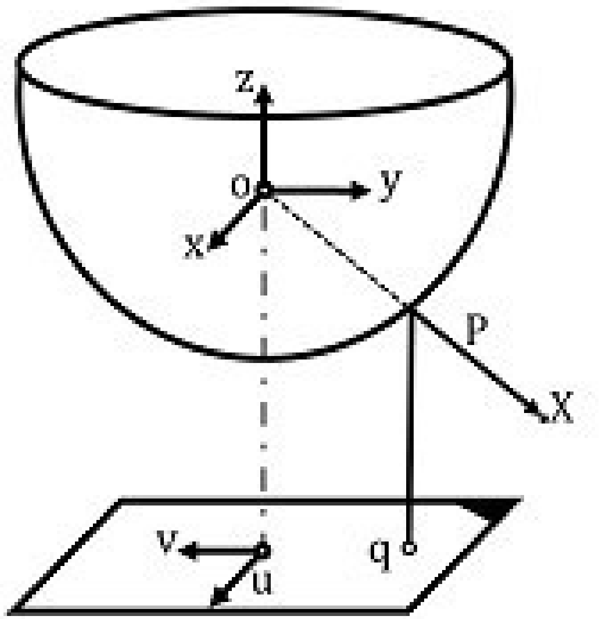
Plan de l'image

la forme polynomiale de f :

$$f(\rho) = a_0 + a_1\rho + a_2\rho^2 + a_3\rho^3 + \ldots + a_n\rho^n$$

MODÉLISATION CAMERA CATADIOPTRIQUE

Système de coordonnées dans le cas catadioptrique :



Plan de l'image

Donc la relation entre un point de pixel q et un point de scène X est :

$$\begin{aligned} \lambda.p &= \lambda.g(q') \\ &= \lambda.g(Aq + t) \\ &= P.X \end{aligned}$$

avec P=K[R T] est la matrice de projection

Donc :

$$\lambda.\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \lambda.g(A.q \; + t) = \lambda.\begin{bmatrix} A.q \; + t \\ f(u,v) \end{bmatrix} = P.X$$

MODÉLISATION CAMERA CATADIOPTRIQUE

Étalonnage de caméra

$$\lambda.\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \lambda.g(A.q \ + t) = \lambda.\begin{bmatrix} A.q \ + t \\ f(u, v) \end{bmatrix} = P.X$$

$$f(u, v) = f(\rho) = a_0 + a_2\rho^2 + a_3\rho^3 + \ldots + a_n\rho^n$$

Les coefficients ai i = 0, 2, ..., n et A et t sont les paramètres de calibration que nous voulons déterminer.

MODÉLISATION CAMERA CATADIOPTRIQUE

Étalonnage de caméra

Nous supposons que A = I (la matrice identité) et t = 0
Cette hypothèse signifie que le plan de la caméra et le plan du capteur coïncident.

nous obtenons l'équation de projection suivante :

$$\lambda . g(u') = \lambda . \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ a_0 + a_2\rho'^2 + \ldots + a_n\rho'^n \end{bmatrix} = P.X$$

a0, a2, . . ., an comme les paramètres intrinsèques.

R et T sont les paramètres extrinsèques.

MODÉLISATION CAMERA CATADIOPTRIQUE

Étalonnage de caméra

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} X_{ij} \\ Y_{ij} \\ Z_{ij} \end{bmatrix}$$

Les coordonnées 3D des points dans le système de coordonnées du motif

$$m_{ij} = \begin{bmatrix} u_{ij} \\ v_{ij} \end{bmatrix}$$

Les coordonnées de pixels correspondantes dans le plan de l'image

MODÉLISATION CAMERA CATADIOPTRIQUE

Étalonnage de caméra

Zij = 0

$$\lambda_{ij}.p_{ij} = \lambda_{ij}.\begin{bmatrix} u_{ij} \\ v_{ij} \\ a_0 + a_2\rho'^2 + \ldots + a_n\rho'^n \end{bmatrix} = P^i.X = [r_1^i.r_2^i.r_3^i T^i].\begin{bmatrix} X_{ij} \\ Y_{ij} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = [r_1^i.r_2^i.T^i].\begin{bmatrix} X_{ij} \\ Y_{ij} \\ 1 \end{bmatrix}$$

- rI, r2 et r3 sont les vecteurs colonnes de la matrice de rotation **R**
- **T** est la matrice de translation

MODÉLISATION CAMERA CATADIOPTRIQUE

Étalonnage de caméra

chaque point pj contribue à trois équations non linéaires homogènes

$$\begin{cases} v_j.(r_{31}Xj + r_{32}Yj + t_3) - f(\rho_j)(r_{21}Xi + r_{22}Yj + t_2) = 0 \\ f(\rho_j).(r_{11}Xi + r_{12}Yj + t_1) - u_j.(r_{31}Xj + r_{32}Yj + t_3) = 0 \\ u_j.(r_{21}Xj + r_{22}Yj + t_2) - v_j(r_{11}Xj + r_{12}Yj + t_1) = 0 \end{cases}$$

tI, t2 et t3 sont les elements de T

- Xj, Yj, Zj, uj et vj sont connus
- les inconnues rII, rI2, r2I, r22, tI et t2

MODÉLISATION CAMERA CATADIOPTRIQUE

Étalonnage de caméra

chaque point pj contribue à trois équations non linéaires homogènes

$$\begin{cases} v_j.(r_{31}Xj + r_{32}Yj + t_3) - f(\rho_j)(r_{21}Xi + r_{22}Yj + t_2) = 0 \\ f(\rho_j).(r_{11}Xi + r_{12}Yj + t_1) - u_j.(r_{31}Xj + r_{32}Yj + t_3) = 0 \\ u_j.(r_{21}Xj + r_{22}Yj + t_2) - v_j(r_{11}Xj + r_{12}Yj + t_1) = 0 \end{cases}$$

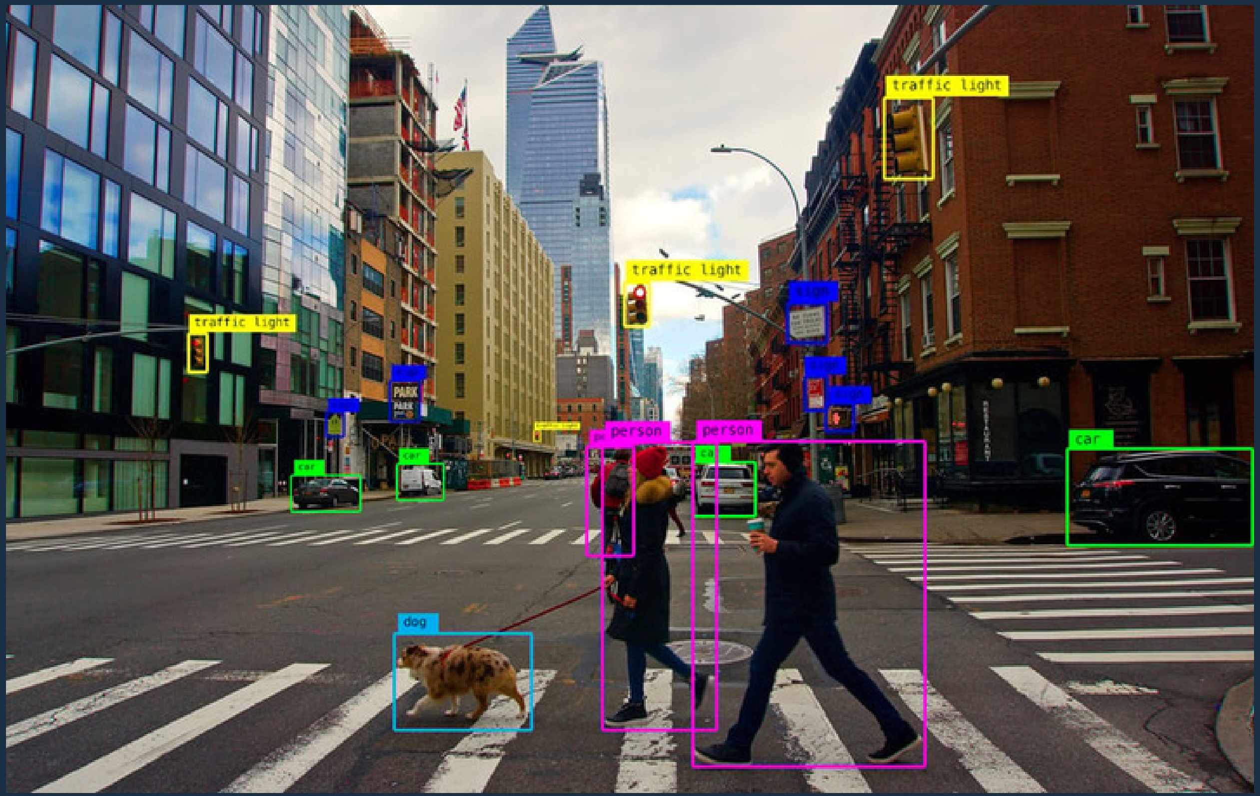
- la technique consiste d'abord à résoudre les paramètres rII, rI2, r2I, r22 et tI. en résolvant linéairement l'équation (3)
- utilisons cette solution comme entrée pour les autre équations
- résolvons pour les paramètres restants a0, a2, . . ., an et t3.

CONCLUSION

La calibration est importante pour une variété d'applications :

> Vision par ordinateur :

> le suivi d'objets;



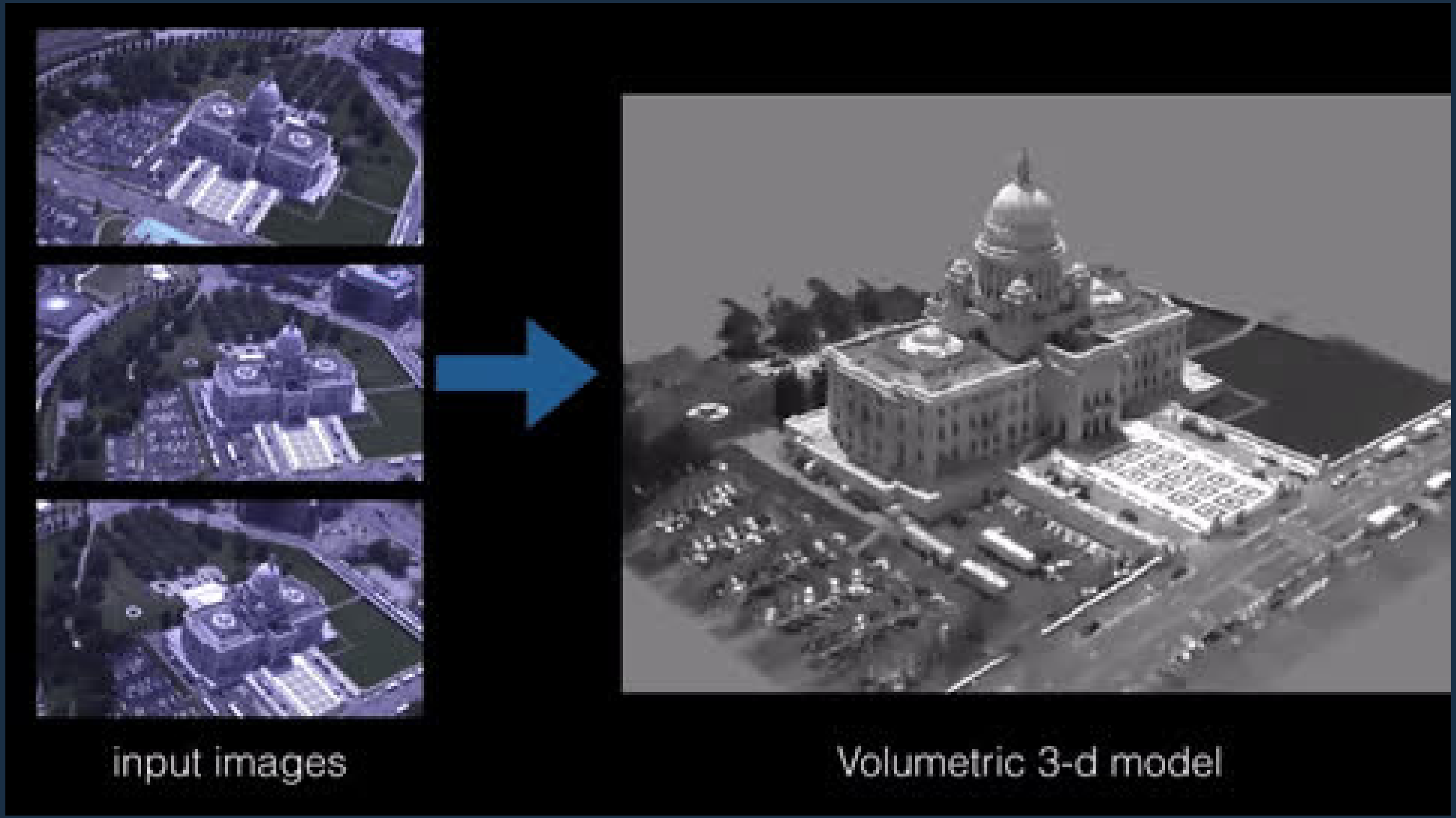
CONCLUSION

La calibration est importante pour une variété d'applications :

> Vision par ordinateur :

le suivi d'objets;

> la reconstruction 3D;



CONCLUSION

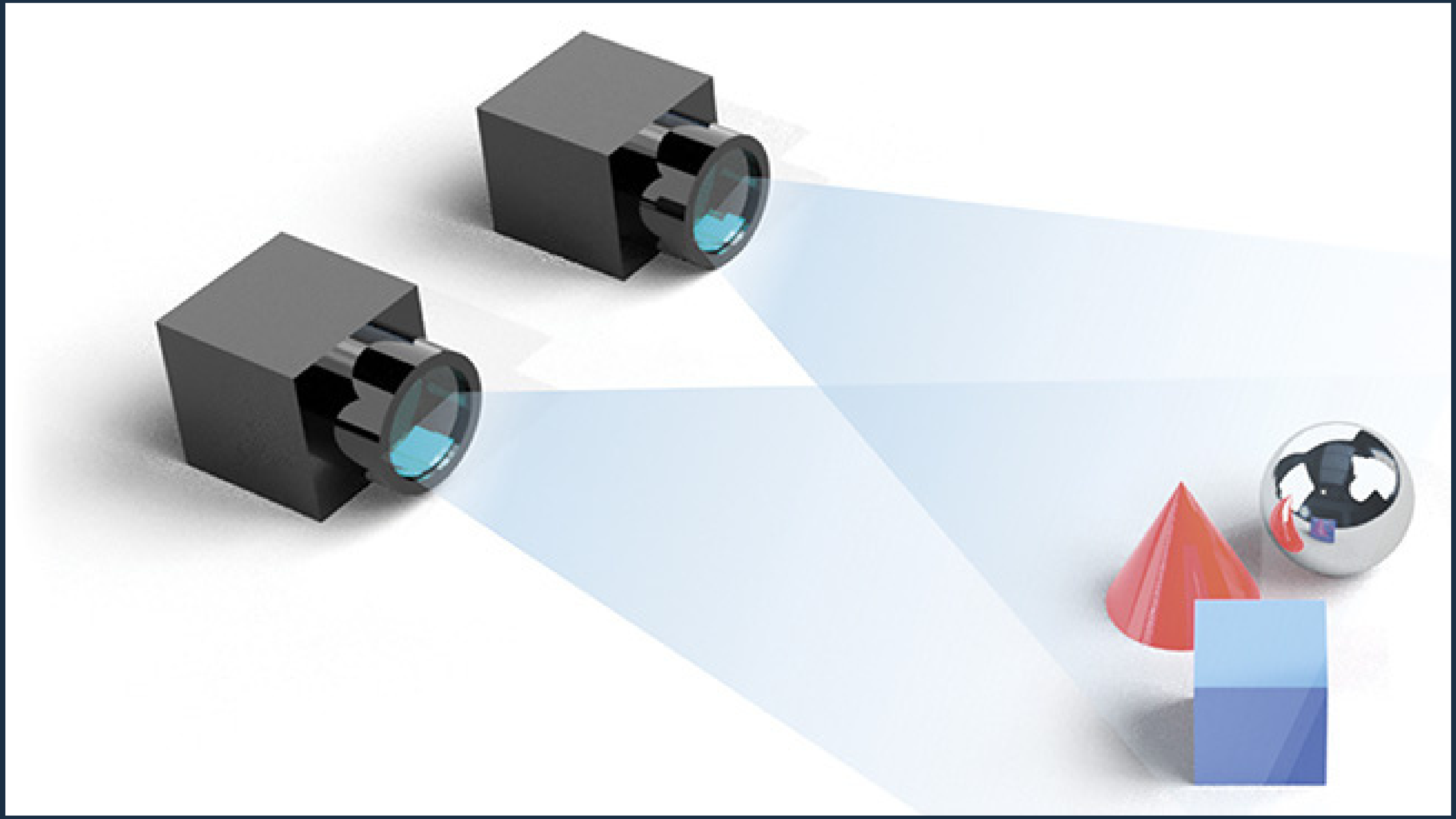
La calibration est importante pour une variété d'applications :

> Vision par ordinateur :

le suivi d'objets;

la reconstruction 3D;

> la vision stéréo;



CONCLUSION

La calibration est importante pour une variété d'applications :

- Vision par ordinateur :
  - le suivi d'objets;
  - la reconstruction 3D;
  - la vision stéréo;
  - ...
- > Robotique

CONCLUSION

La calibration est importante pour une variété d'applications :

- Vision par ordinateur :
  - le suivi d'objets;
  - la reconstruction 3D;
  - la vision stéréo;
  - ...
- Robotique
- > Réalité augmentée

CONCLUSION

La calibration est importante pour une variété d'applications :

- Vision par ordinateur :
  - le suivi d'objets;
  - la reconstruction 3D;
  - la vision stéréo;
  - ...
- Robotique
- Réalité augmentée
- > Voitures autonomes

TOOLBOX