



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène
Faculté d'Electronique et d'Informatique
Département d'Informatique



La vision par ordinateur

Chapitre 3 : Géométrie, Calibration et Mathématique Projective

Master 2 : Systèmes Informatique Intelligents
Lyes_sii@yahoo.fr lyes_abada@yahoo.fr

Transformation 2D

Transformation 2D

Une transformation 2D consiste à change un graphique (positions de pixels) en appliquant certaines règles

1- Symétrie

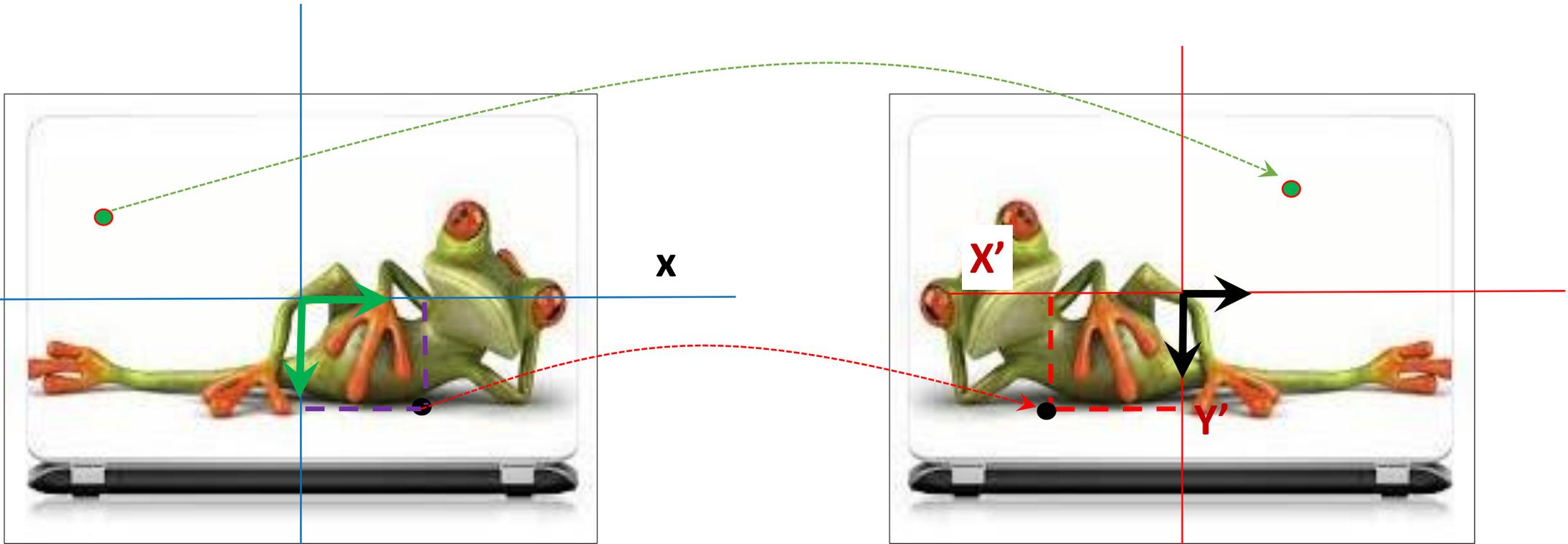
2- Translation

3- Changement d'échelle

4- Rotation

5- Autres

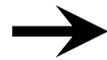
Symétrie



$$\begin{aligned} X' &= -X \\ Y' &= Y \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} X' &= -1X + 0y \\ Y' &= 0X + 1Y \end{aligned}$$



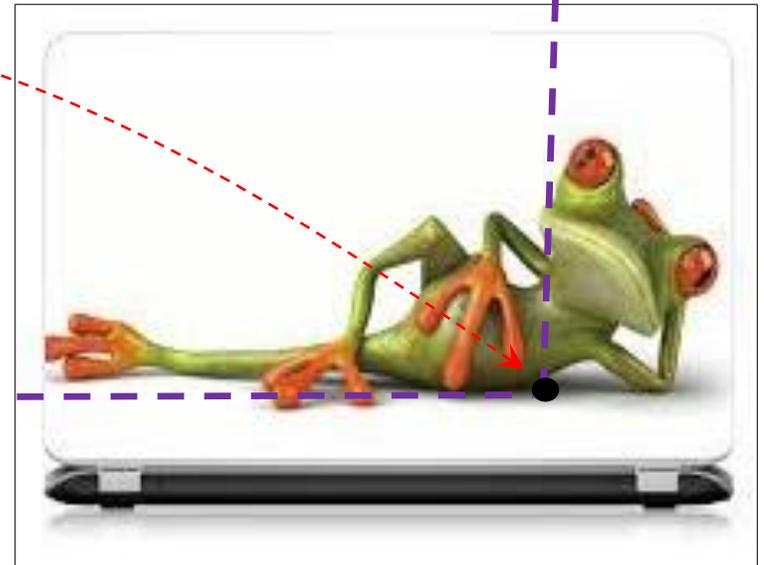
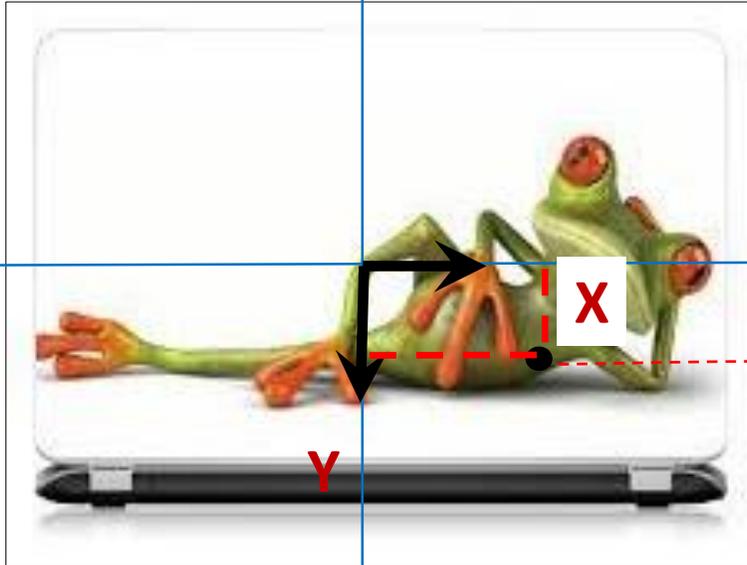
Matrice de la transformation

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

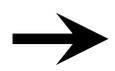
Par rapport à l'axe X

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

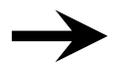
Translation/systeme de coordonnées



$$\begin{aligned} X' &= X + t_x \\ Y' &= Y + t_y \end{aligned}$$

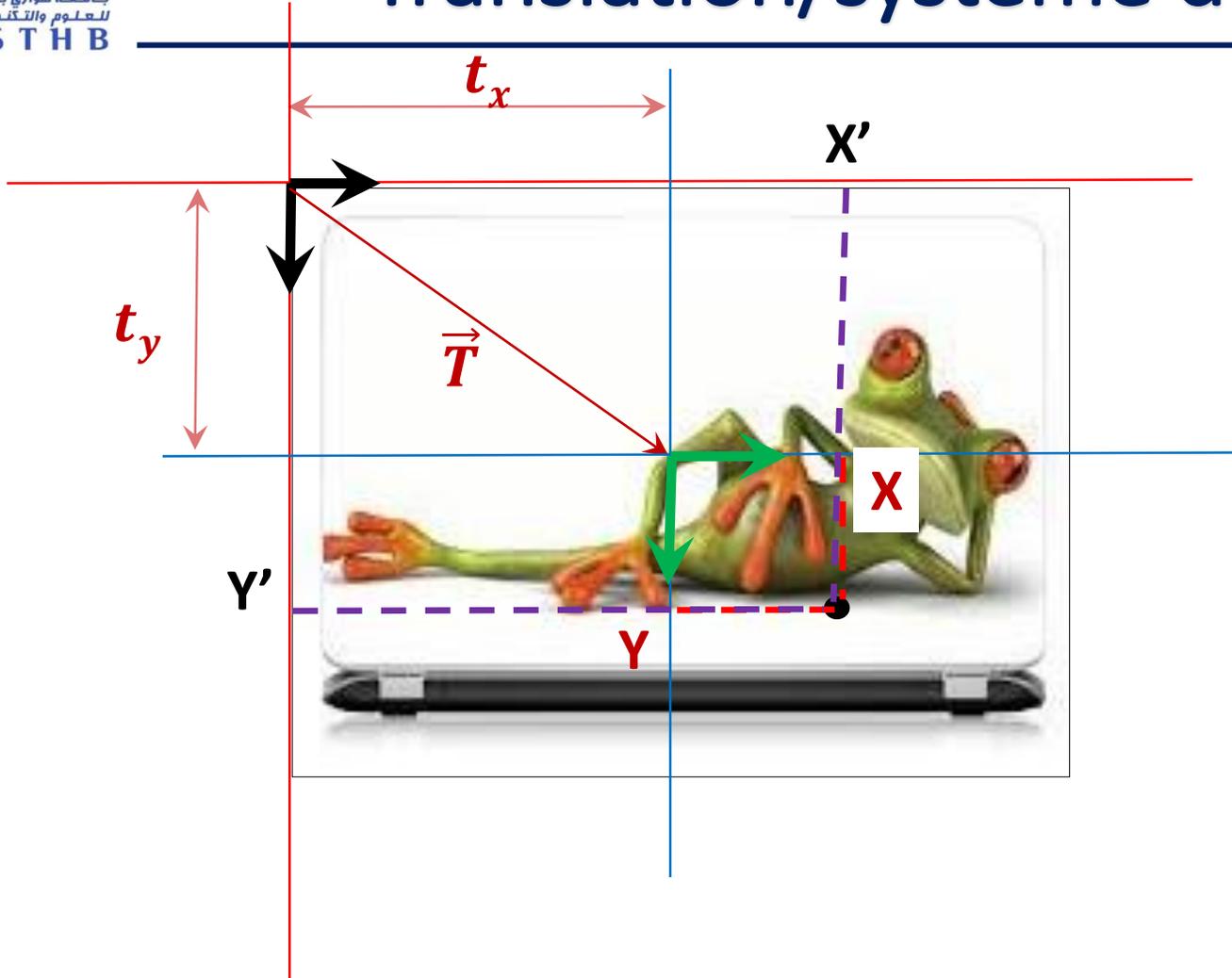


$$\begin{aligned} X' &= 1X + 0Y + t_x \\ Y' &= 0X + 1Y + t_y \end{aligned}$$

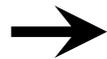


$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

Translation/système de coordonnées



$$\begin{aligned} X' &= X + t_x \\ Y' &= Y + t_y \end{aligned}$$

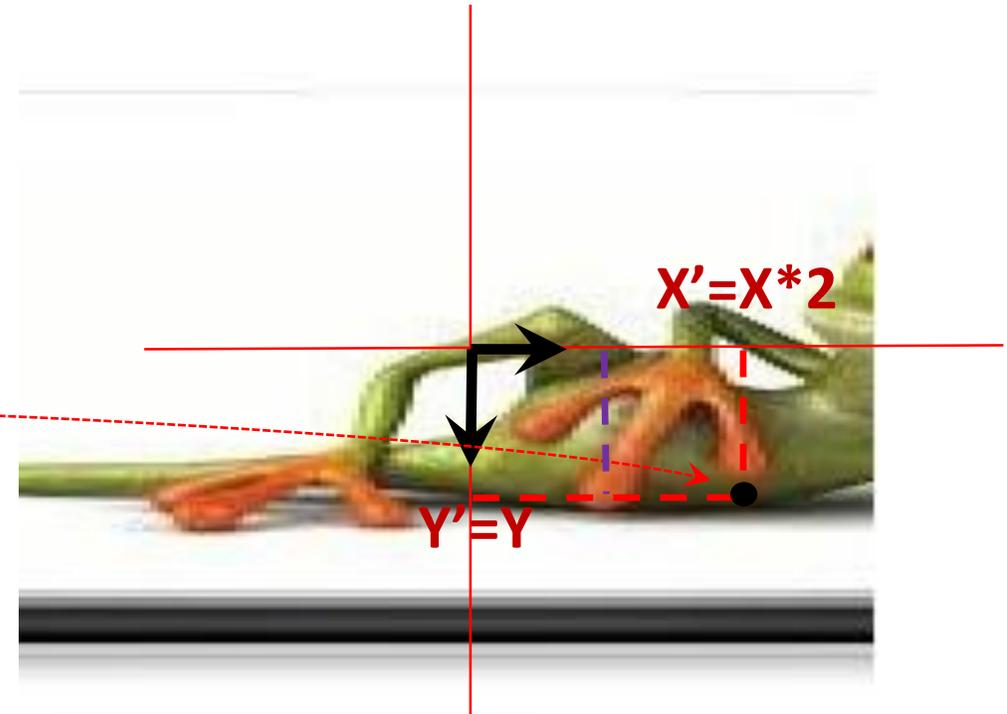
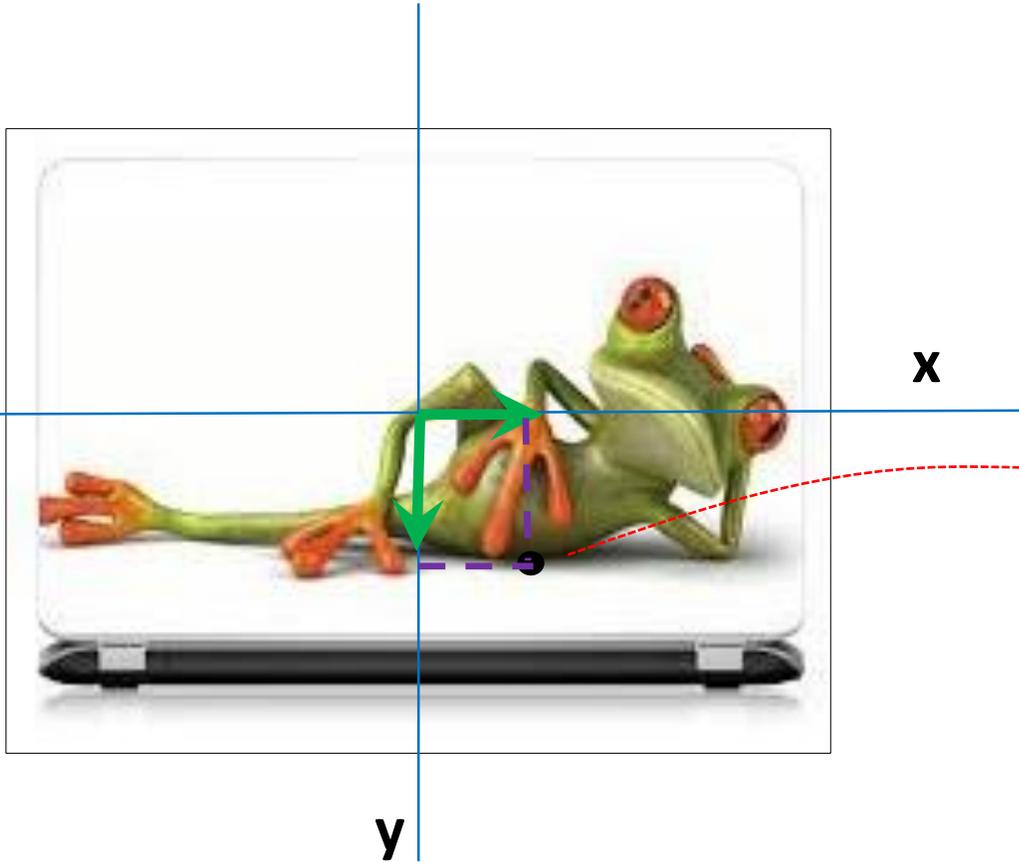


$$\begin{aligned} X' &= 1X + 0Y + t_x \\ Y' &= 0X + 1Y + t_y \end{aligned}$$



$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

Changement d'échelle (agrandissement : $S > 1$)

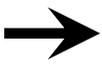


Matrice de la transformation

$$\begin{matrix} X' = X * 2 \\ Y' = Y \end{matrix}$$



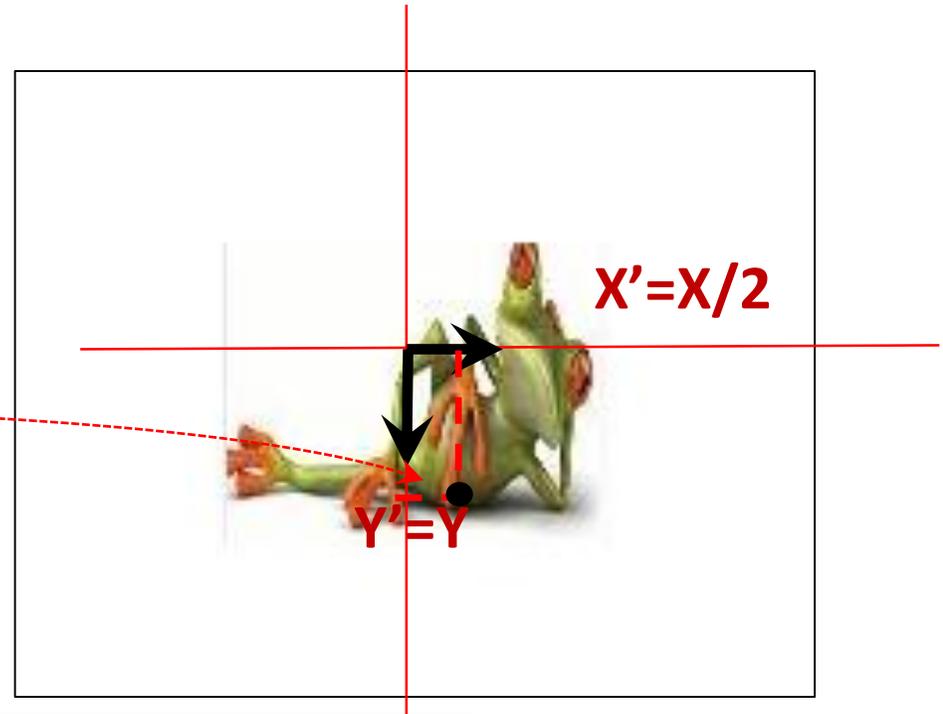
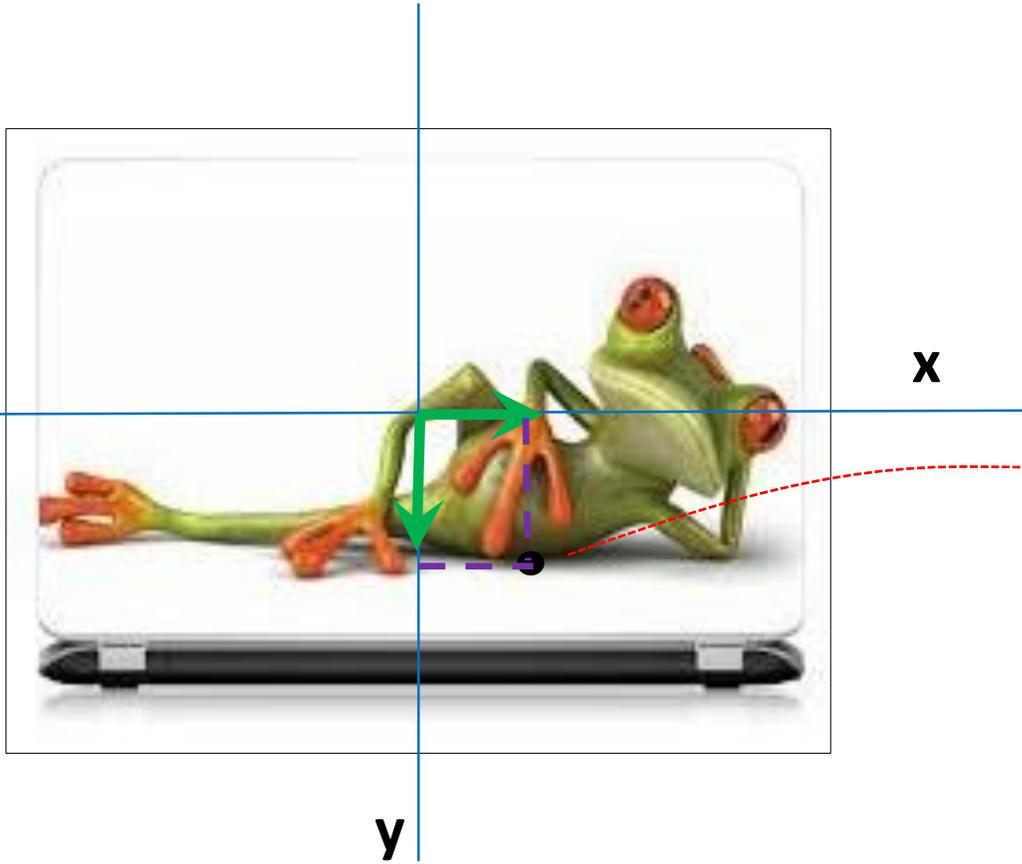
$$\begin{matrix} X' = 2X + 0Y \\ Y' = 0X + 1Y \end{matrix}$$



$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_x & 0 \\ 0 & S_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

Changement d'échelle (réduction : $S < 1$)



Matrice de la transformation

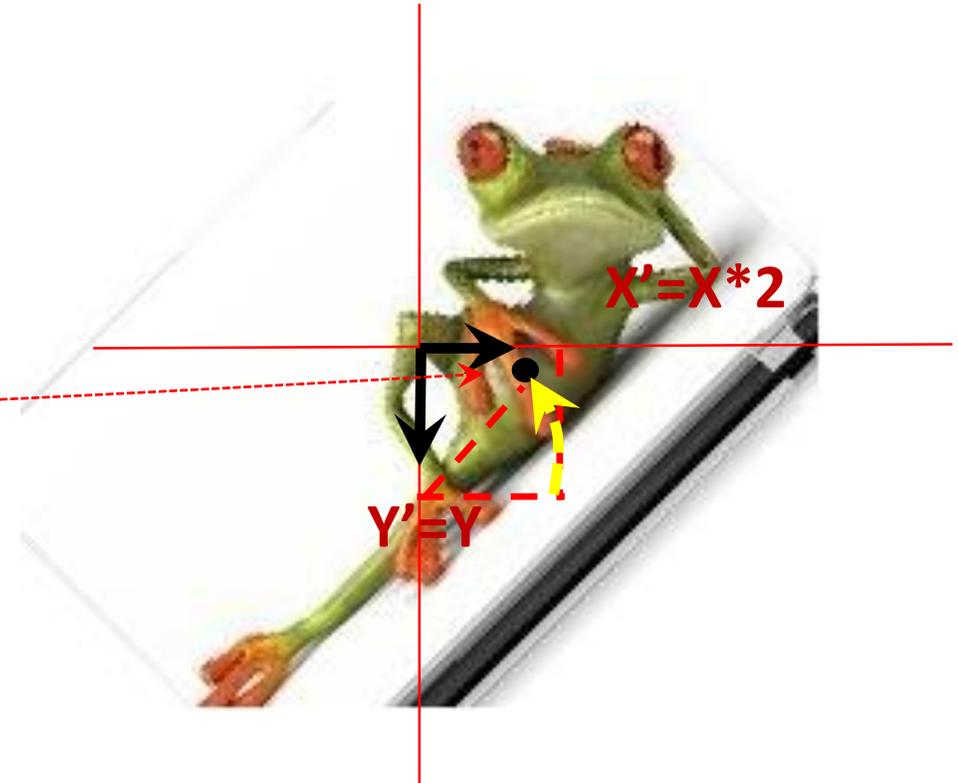
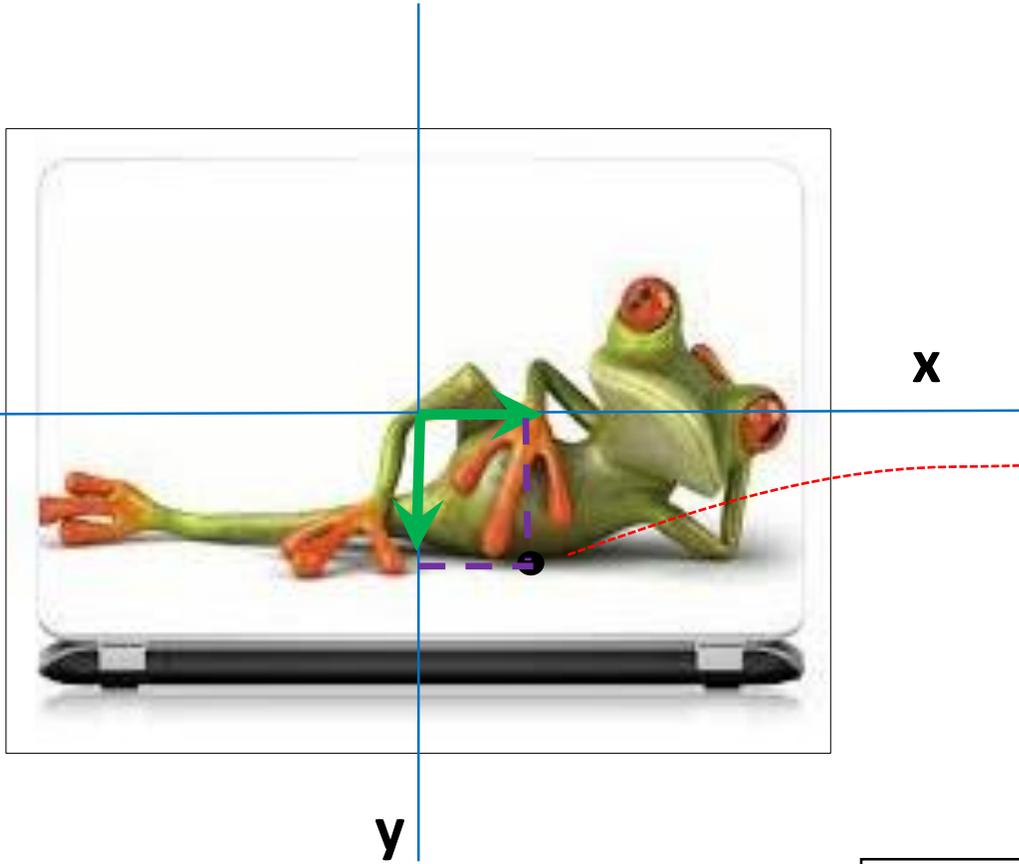
$$\begin{aligned} X' &= X * \frac{1}{2} \\ Y' &= Y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X' &= \frac{1}{2} * X + 0y \\ Y' &= 0X + 1Y \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_x & 0 \\ 0 & S_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

Rotation



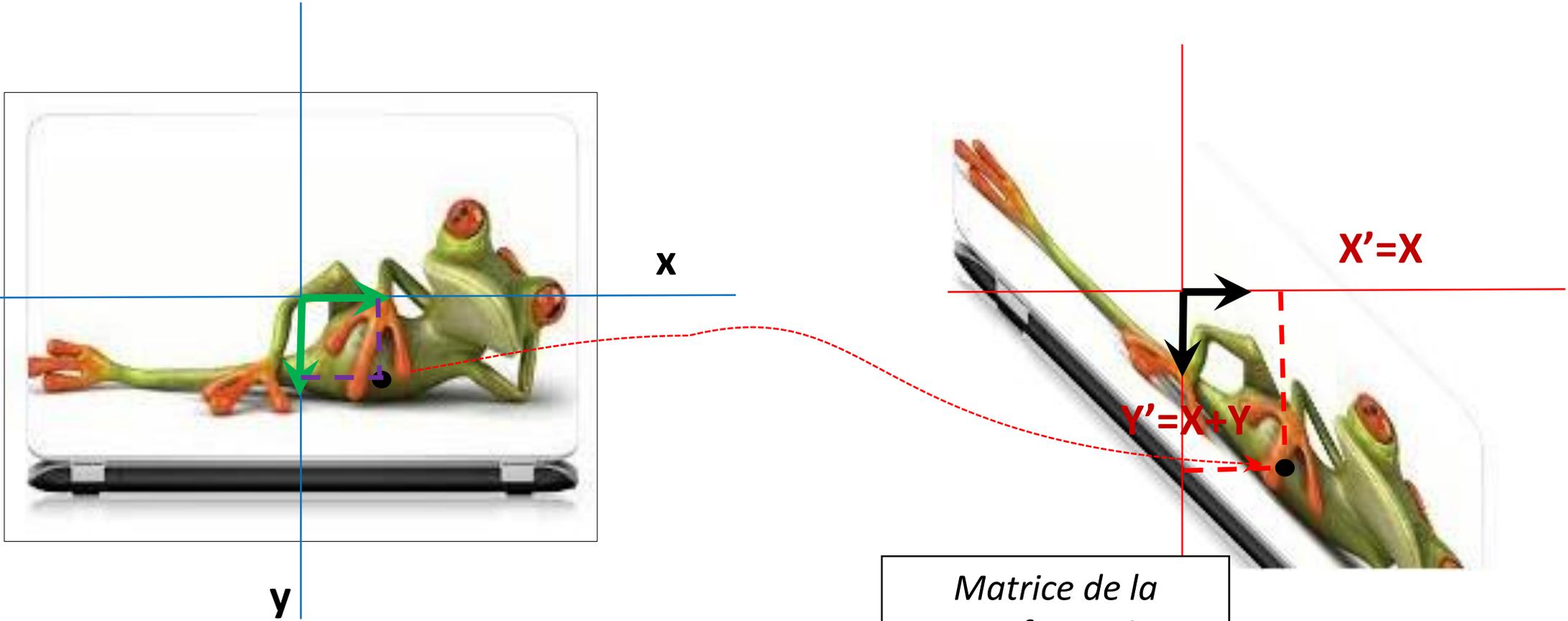
$$\begin{aligned}
 x' &= \cos \theta X - \sin \theta Y \\
 y' &= \sin \theta X + \cos \theta Y
 \end{aligned}$$



Matrice de la transformation

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

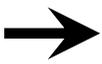
Autres transformations



$$\begin{matrix} X' = X \\ Y' = X + Y \end{matrix}$$



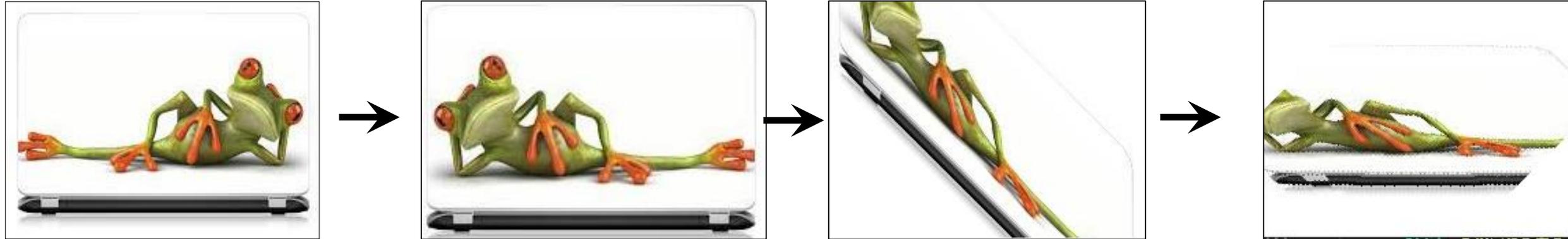
$$\begin{matrix} X' = 1X + 0y \\ Y' = 1X + 1Y \end{matrix}$$



Matrice de la transformation

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

Composition de transformations



$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

Transformation 3D

Changement d'échelle 3D

$$\begin{aligned} X' &= S_x * X \\ Y' &= S_y * Y \\ Z' &= S_z * Z \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} X' &= -S_x X + 0Y + 0Z \\ Y' &= 0X + S_y Y + 0Z \\ Z' &= 0X + 0Y + S_z Z \end{aligned}$$



$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 1 & S_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

Translation 3D

$$\begin{aligned} X' &= X+a \\ Y' &= Y+b \\ Z' &= Z+c \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} X' &= 1X + 0Y + 0Z+a \\ Y' &= 0X + 1Y + 0Z+b \\ Z' &= 0X + 0Y + 1Z+c \end{aligned}$$



$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Transformation 3D

Rotation 3D

 $R_{\theta, z}$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

 $R_{\theta, y}$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

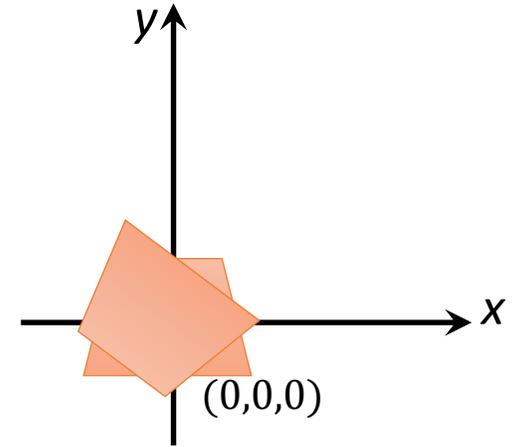
 $R_{\theta, x}$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

Composition de transformations

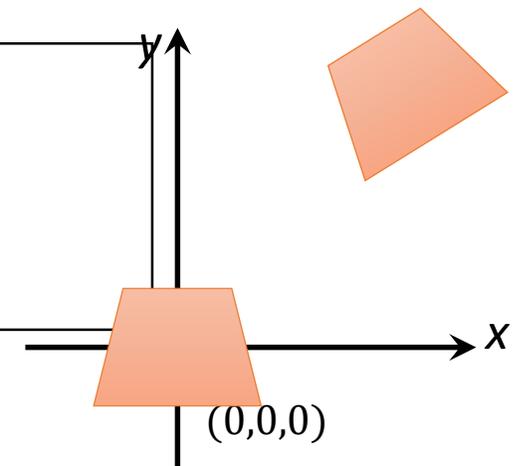
Rotation R ensuite Translation T

$$[T].[R] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & a \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$



Translation T ensuite rotation R

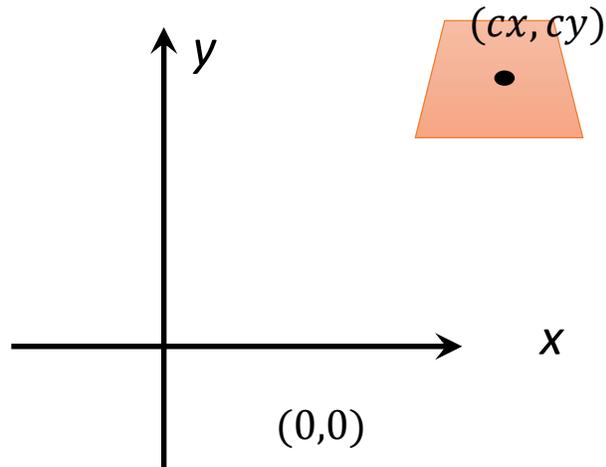
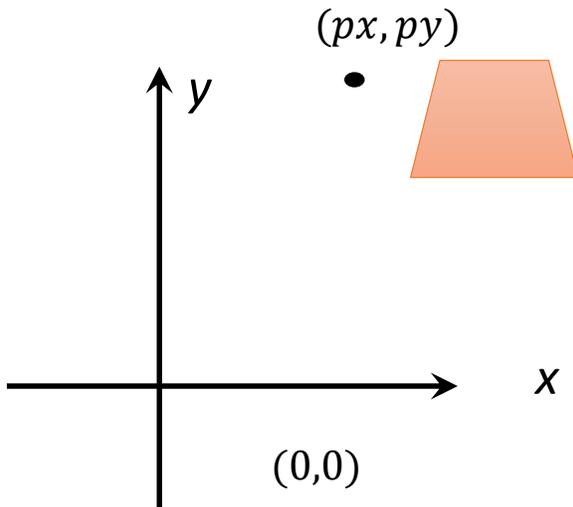
$$[R].[T] = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & a \cos(\theta) - b \sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & a \sin(\theta) + b \cos(\theta) \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



Composition de transformations

Rotation par rapport à un point $P(p_x, p_y)$?!

Agrandissement d'un objet sans changer son centre ?!



Transformation 2D

Coordonnées Homogènes P²

Changement d'échelle 2D

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_x & 0 \\ 0 & S_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$



$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

Translation 2D

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

Rotation 2D

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$



$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

Transformation 3D

Coordonnées Homogènes P³

Changement d'échelle 3D

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 1 & S_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$



$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Translation 3D

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Rotation 3D

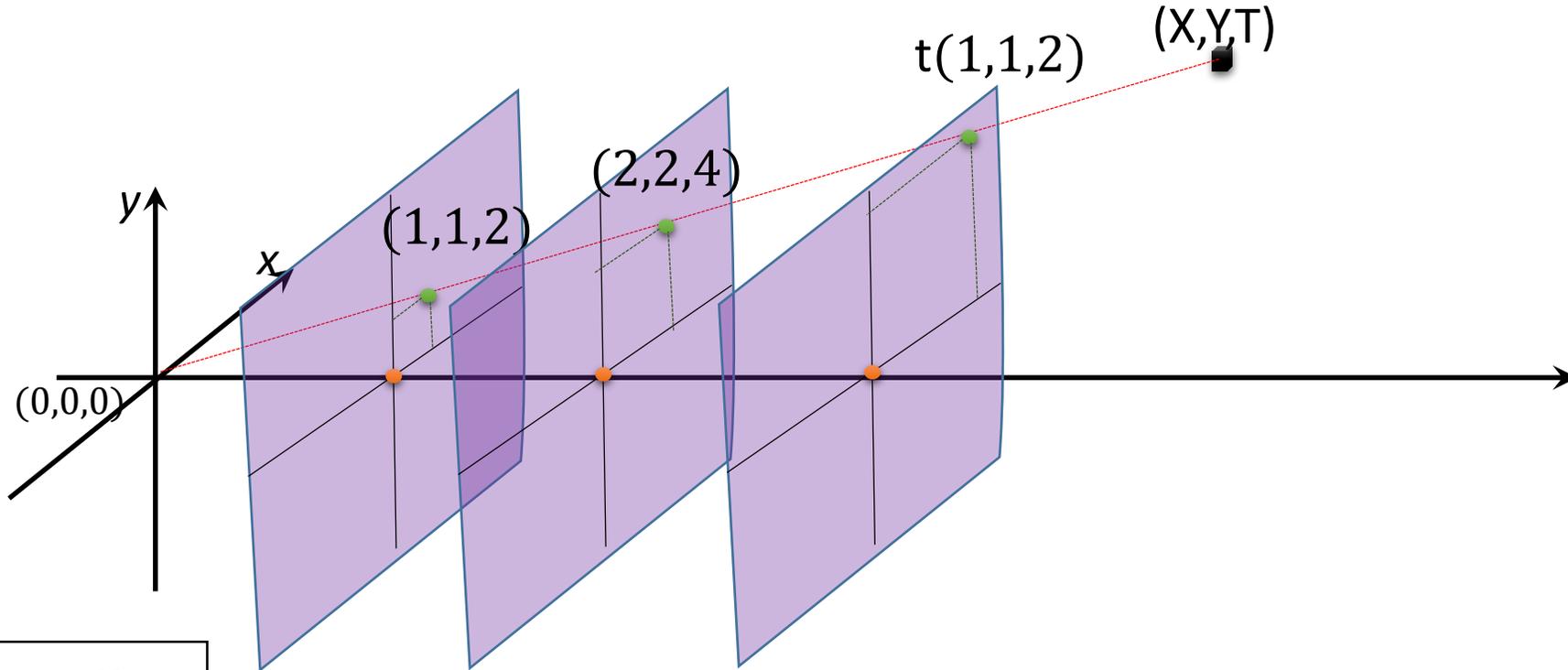
$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$



$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

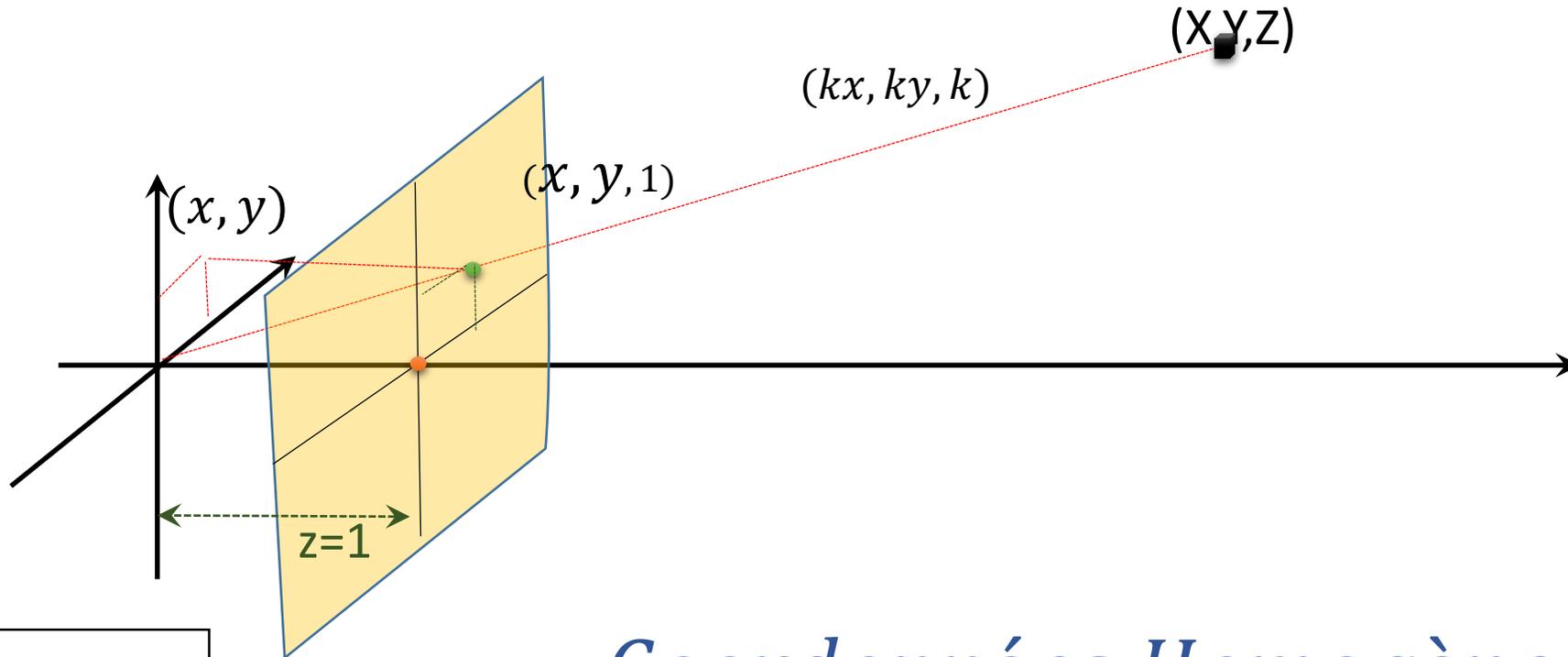
Coordonnées Homogènes

Espace 3D



Plan affine

Coordonnées Homogènes P^2



Plan affine

Coordonnées Homogènes :

$$(x, y, 1) = \left(\frac{X}{Z}, \frac{Y}{Z}, \frac{Z}{Z} \right) \sim k(x, y, 1)$$

Coordonnées affines \Rightarrow *Coordonnées Homogènes* :

$$(x, y) \Rightarrow (x, y, 1)$$

Coordonnées Homogènes \Rightarrow *Coordonnées affines 2D*:

$$(\tilde{x}, \tilde{y}, t) \sim \left(\frac{\tilde{x}}{t}, \frac{\tilde{y}}{t}, 1 \right) \Rightarrow (x, y) = \left(\frac{\tilde{x}}{t}, \frac{\tilde{y}}{t} \right)$$

Coordonnées affines \Rightarrow Coordonnées Homogènes 3D:

$$(x, y, z) \Rightarrow (x, y, z, 1)$$

Coordonnées Homogènes \Rightarrow Coordonnées affines 3D:

$$(\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}, t) \sim \left(\frac{\tilde{x}}{t}, \frac{\tilde{y}}{t}, \frac{\tilde{z}}{t}, 1 \right) \Rightarrow (x, y, z) = \left(\frac{\tilde{x}}{t}, \frac{\tilde{y}}{t}, \frac{\tilde{z}}{t} \right)$$

Coordonnées Homogènes

Dans le plan affine un point P est représenté par ses coordonnées (x, y) .

Le principe des coordonnées homogènes est de représenter ce point par le triplet $(\tilde{x}, \tilde{y}, t)$ avec $t \neq 0$ et tel que $(x, y) = \left(\frac{\tilde{x}}{t}, \frac{\tilde{y}}{t}\right)$

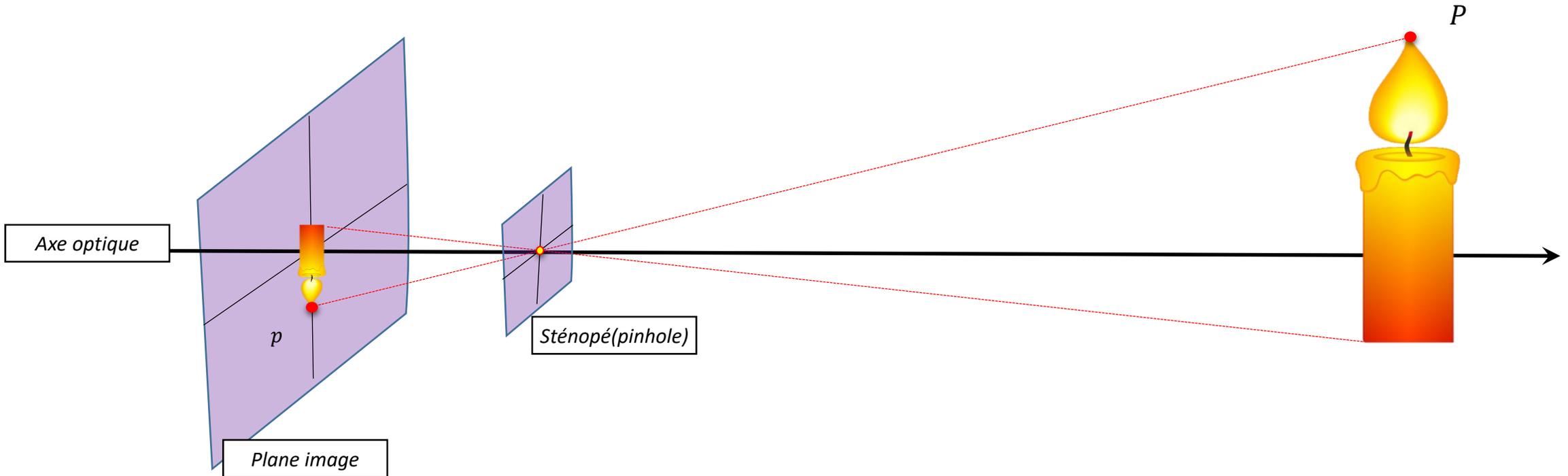
Pour tout scalaire $k \neq 0$, $k(x, y, t) = (kx, ky, kt)$ représente le même point que (x, y, t)

Les coordonnées homogènes sont donc définies à un facteur multiplicatif près.

En particulier si $t=1$, les coordonnées homogènes sont $(\tilde{x}, \tilde{y}, 1)$.

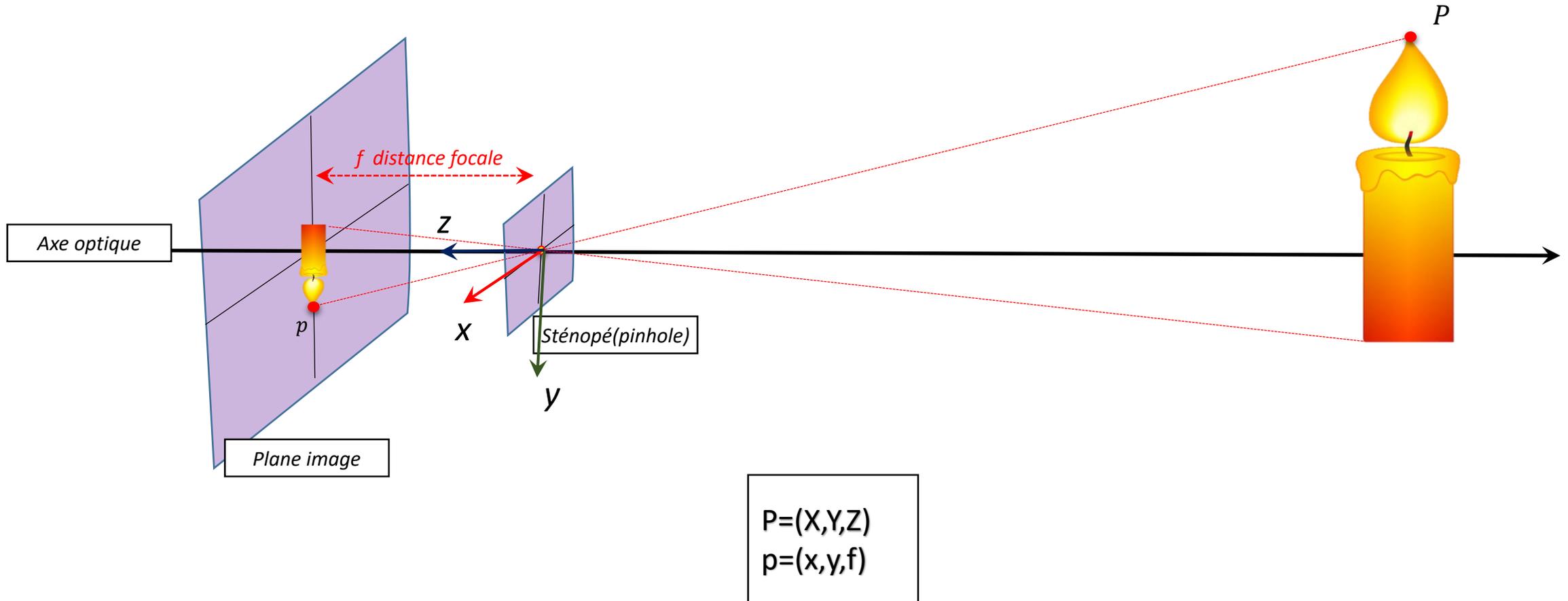
1 - Le modèle géométrique d'une caméra

Modèle de sténopé (pinhole)

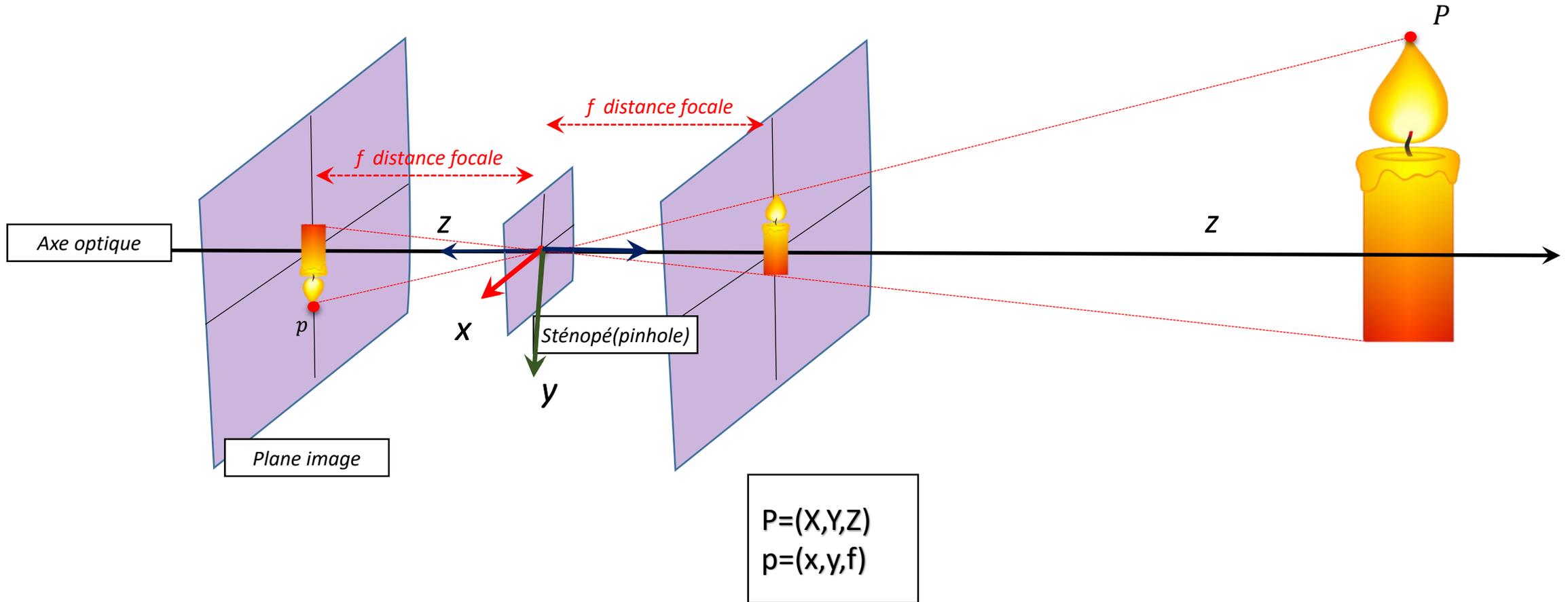


Relation entre $P(X,Y,Z)$ et $p(x,y,z)$?

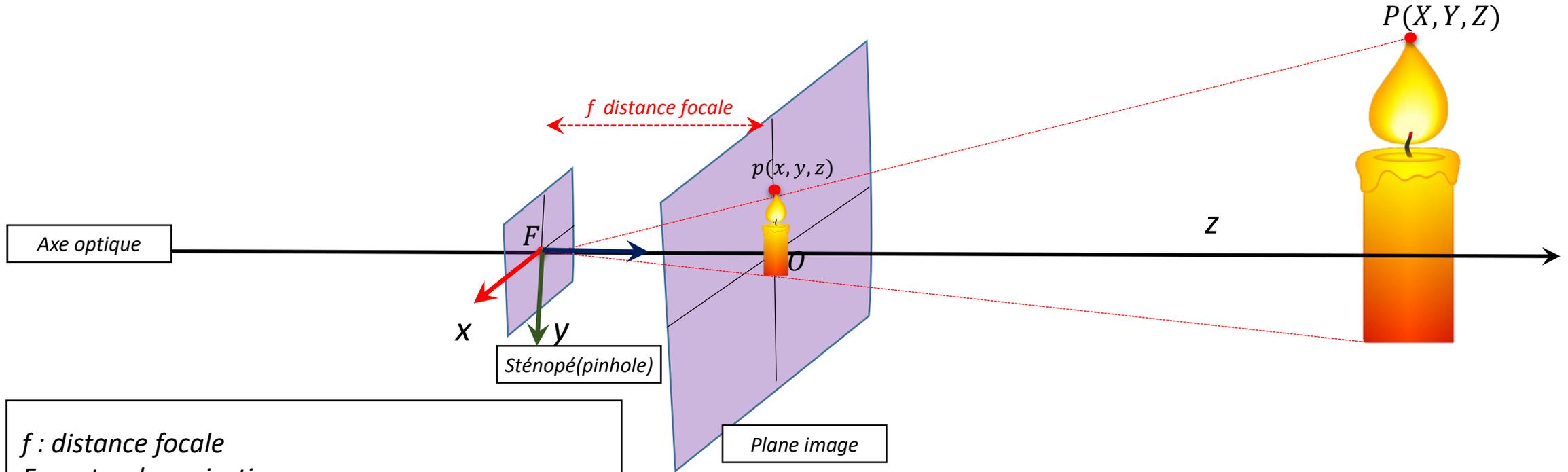
Modèle de sténopé (pinhole)



Modèle perspectif de la caméra



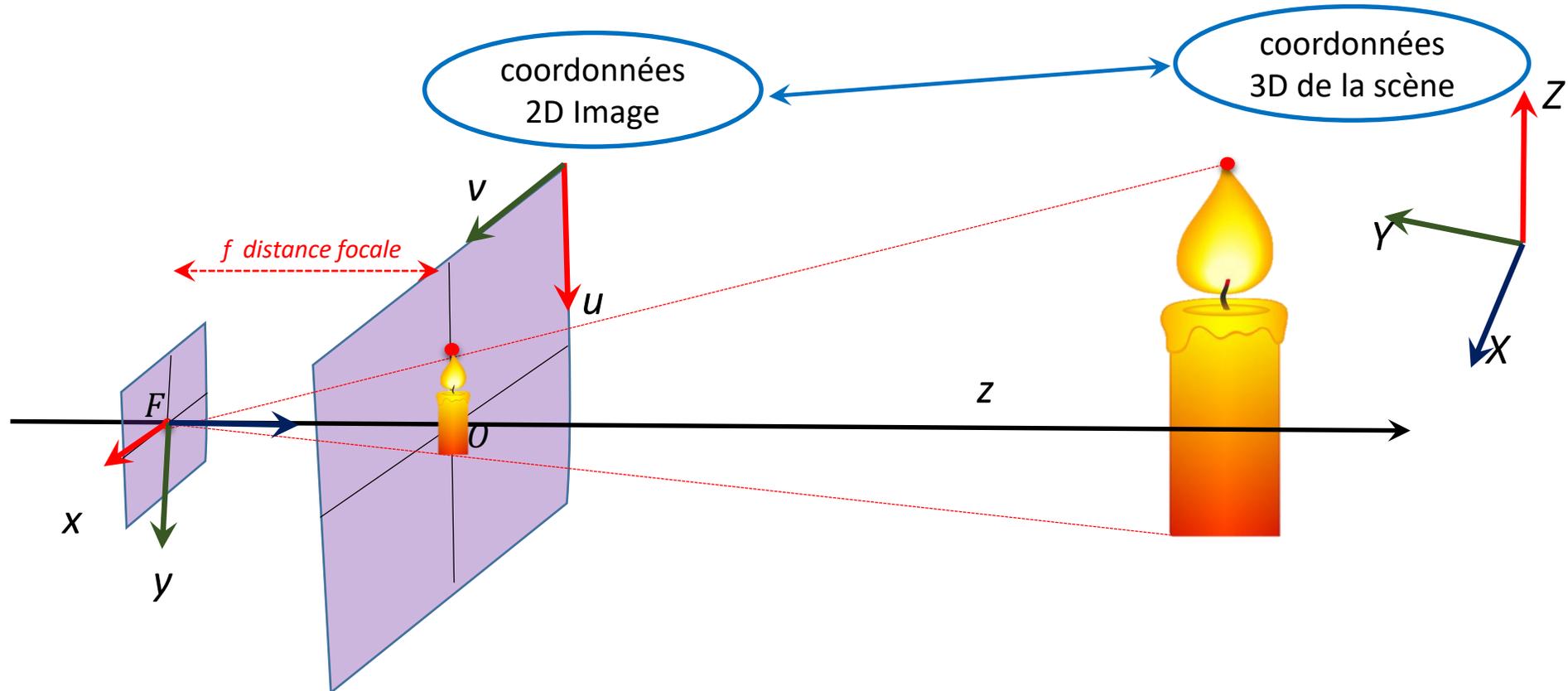
Modèle perspectif de la caméra



f : distance focale
 F : centre de projection
 O : le point principal (projeté de F)
Axe-Z : axe optique
 $P(X,Y,Z)$: point de la scène (repère caméra)
 $p(x,y,f)$: projeté de P sur le plan image (repère caméra)

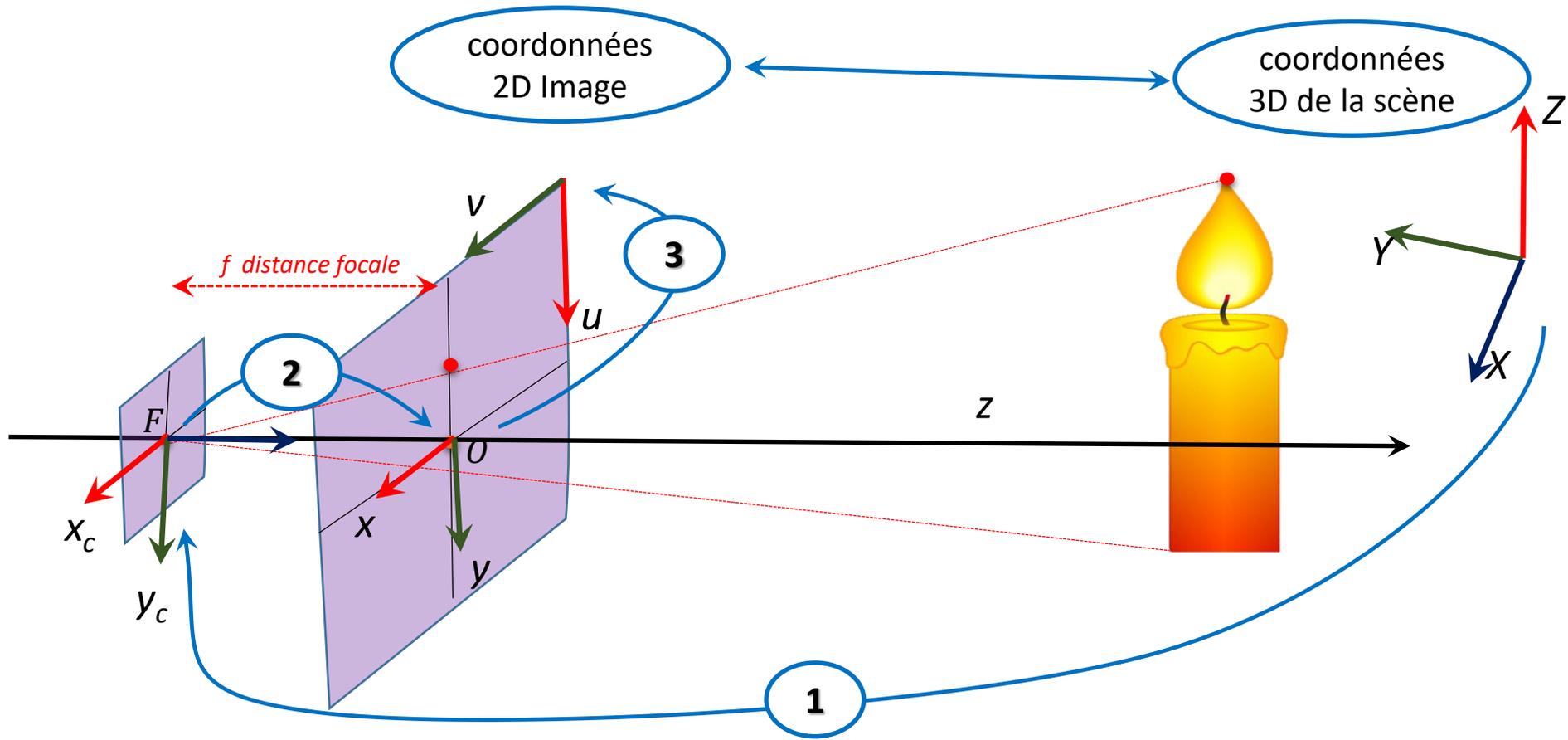
Calibration et Stéréovision

Le calibrage géométrique d'une caméra consiste à déterminer la relation mathématique existant entre les coordonnées des points 3D de la scène observée et les coordonnées 2D de leur projection dans l'image



Calibration et Stéréovision

Le calibrage géométrique d'une caméra consiste à déterminer la relation mathématique existant entre les coordonnées des points 3D de la scène observée et les coordonnées 2D de leur projection dans l'image



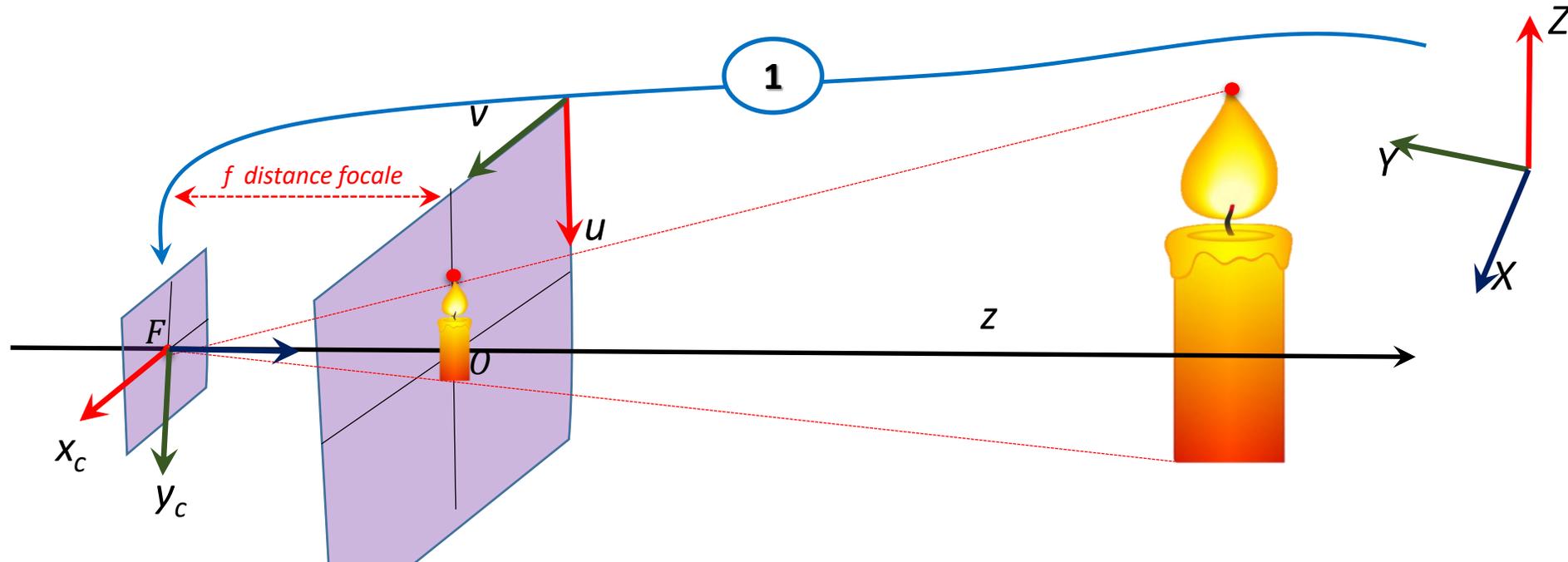
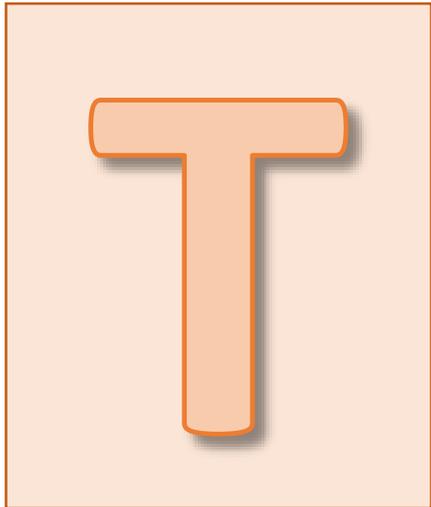
Calibration et Stéréovision

1- Transformation entre le repère du monde et le repère caméra:

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} = [R] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} + t = \begin{bmatrix} R & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$t = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

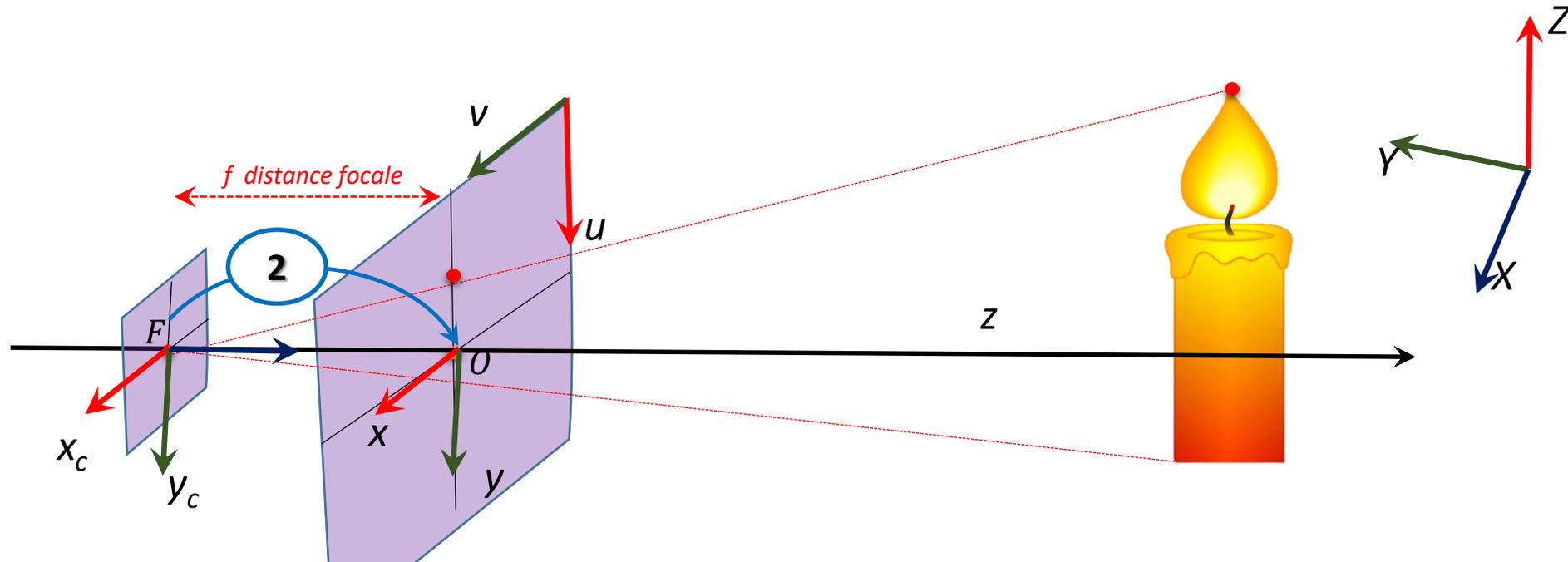
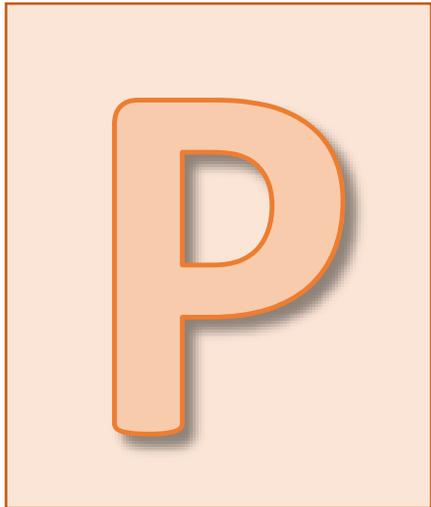
$$[R] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$



Calibration et Stéréovision

2- Transformation entre le repère caméra et le repère capteur

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} = [P] \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix}$$



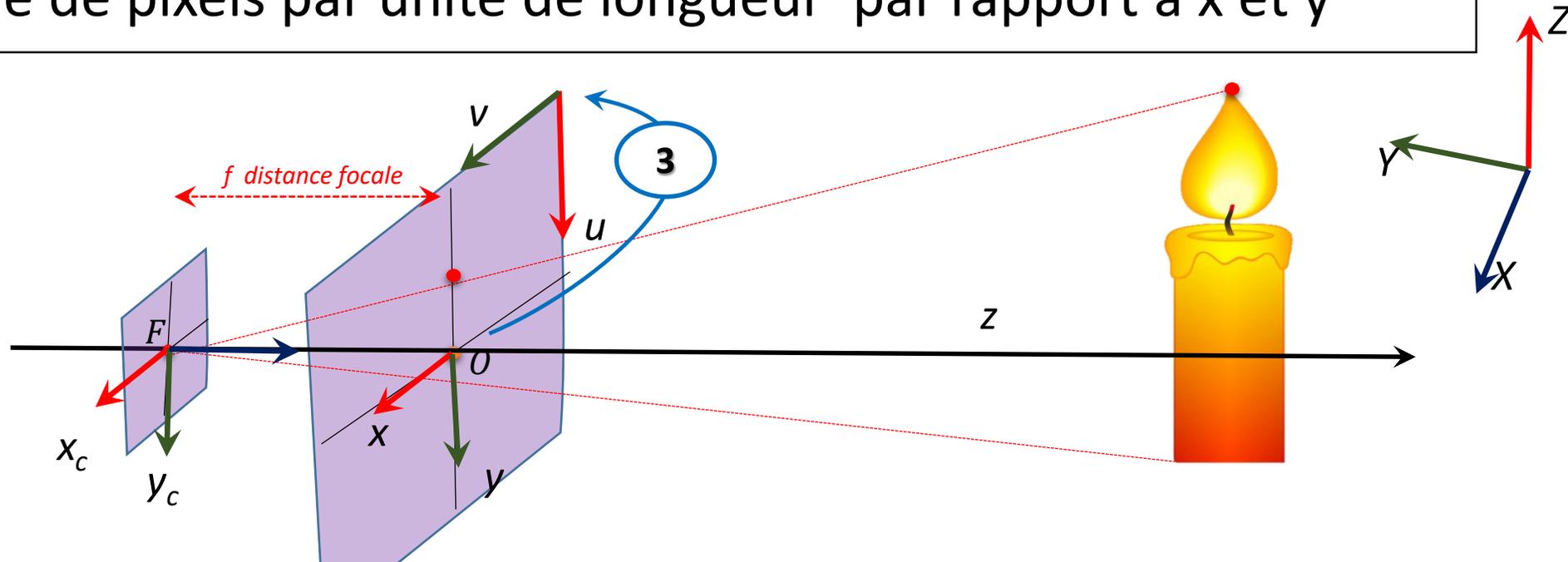
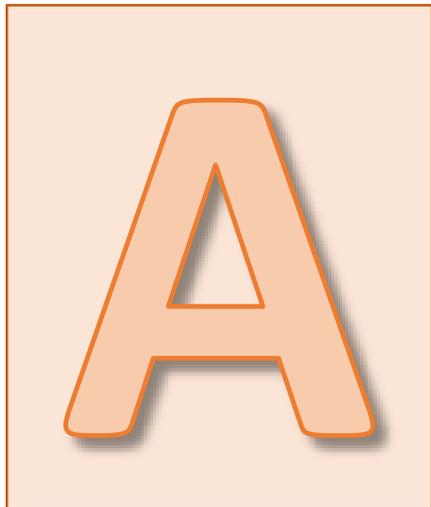
Calibration et Stéréovision

2- Transformation entre le repère caméra et le repère capteur

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_x & k_x \cos(\theta) & o_x + o_y \cos(\theta) & 0 \\ 0 & k_y / \sin(\theta) & o_y / \sin(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \text{ Pour : } \theta = \pi/2 = \begin{bmatrix} k_x & 0 & o_x \\ 0 & k_y & o_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

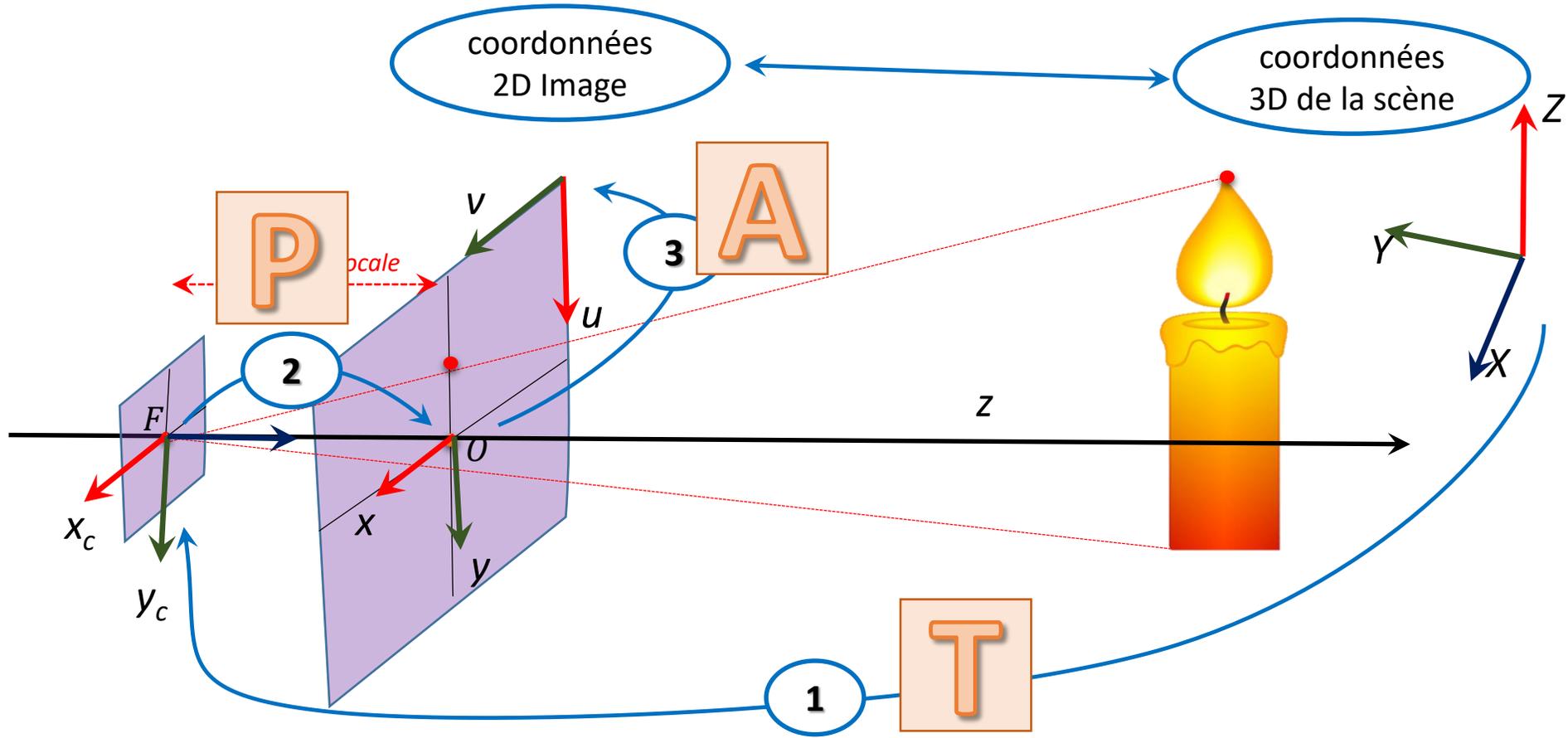
o_x, o_y : les coordonnées de o .

K_x, k_y : le nombre de pixels par unité de longueur par rapport à x et y



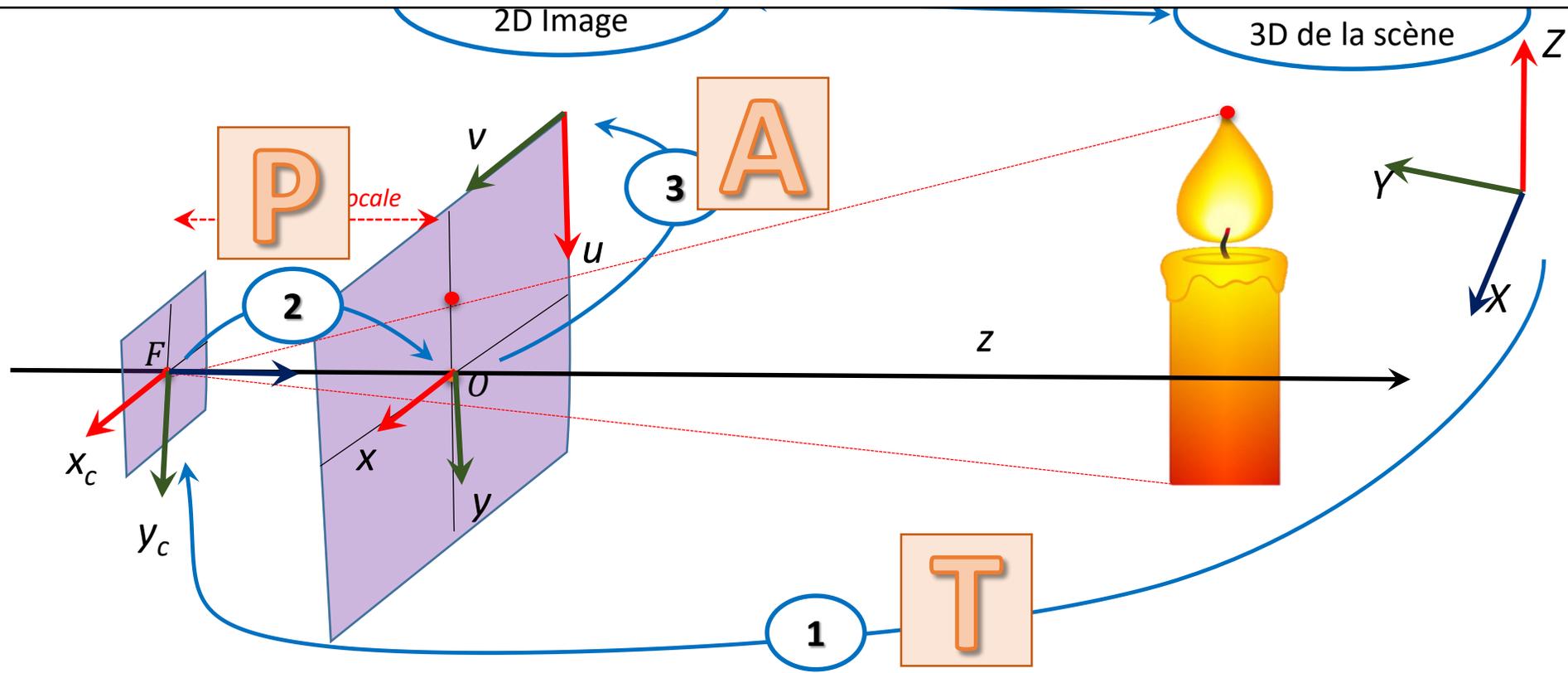
Calibration et Stéréovision

Modèle sténopé complet : la composition des trois translations ①, ② et ③
 Donne la translation entre les coordonnées scène et les coordonnées image



Modèle sténopé complet

$$(X, Y, Z) \xrightarrow{T} (x_c, y_c, z_c) \xrightarrow{P} (x, y, 1) \xrightarrow{A} (u, v, 1)$$



Calibration et Stéréovision

Modèle sténopé complet

$$(X, Y, Z) \xrightarrow{T} (xc, yc, zc) \xrightarrow{P} (x, y, 1) \xrightarrow{A} (u, v, 1)$$

$$M = AP T m$$

$$AP = \begin{bmatrix} f_x & f_x \cos(\theta) & o_x + o_y \cos(\theta) & 0 \\ 0 & f_y / \sin(\theta) & o_y / \sin(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad / \quad f_x = f * k_x, f_y = f * k_y$$

- ✓ f_x, f_y, cx, cy, θ de ma matrice AP sont appelés **paramètres intrinsèques** de la caméra
- ✓ *les 3 rotations et les 3 translation* de la matrice T sont appelés **paramètres extrinsèques**
- ✓ le modèle sténopé est décrit par les **5 paramètres intrinsèques** et les **6 paramètres extrinsèques**

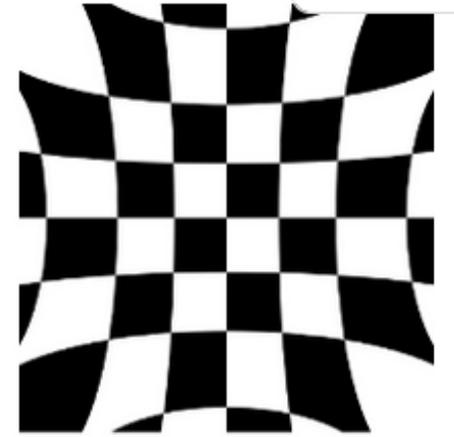
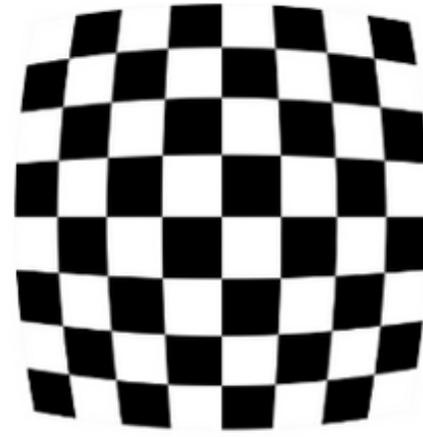
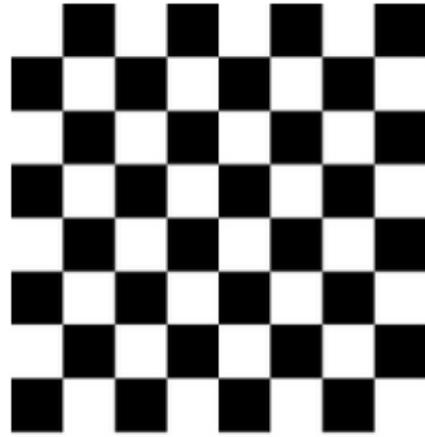
Modèle sténopé complet

$$(X, Y, Z) \xrightarrow{T} (xc, yc, zc) \xrightarrow{P} (x, y, 1) \xrightarrow{A} (u, v, 1)$$

$$M = AP T m$$

$$AP = \begin{bmatrix} f_x & f_x \cos(\theta) & o_x + o_y \cos(\theta) & 0 \\ 0 & f_y / \sin(\theta) & o_y / \sin(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad / \quad f_x = f * k_x, \quad f_y = f * k_y$$

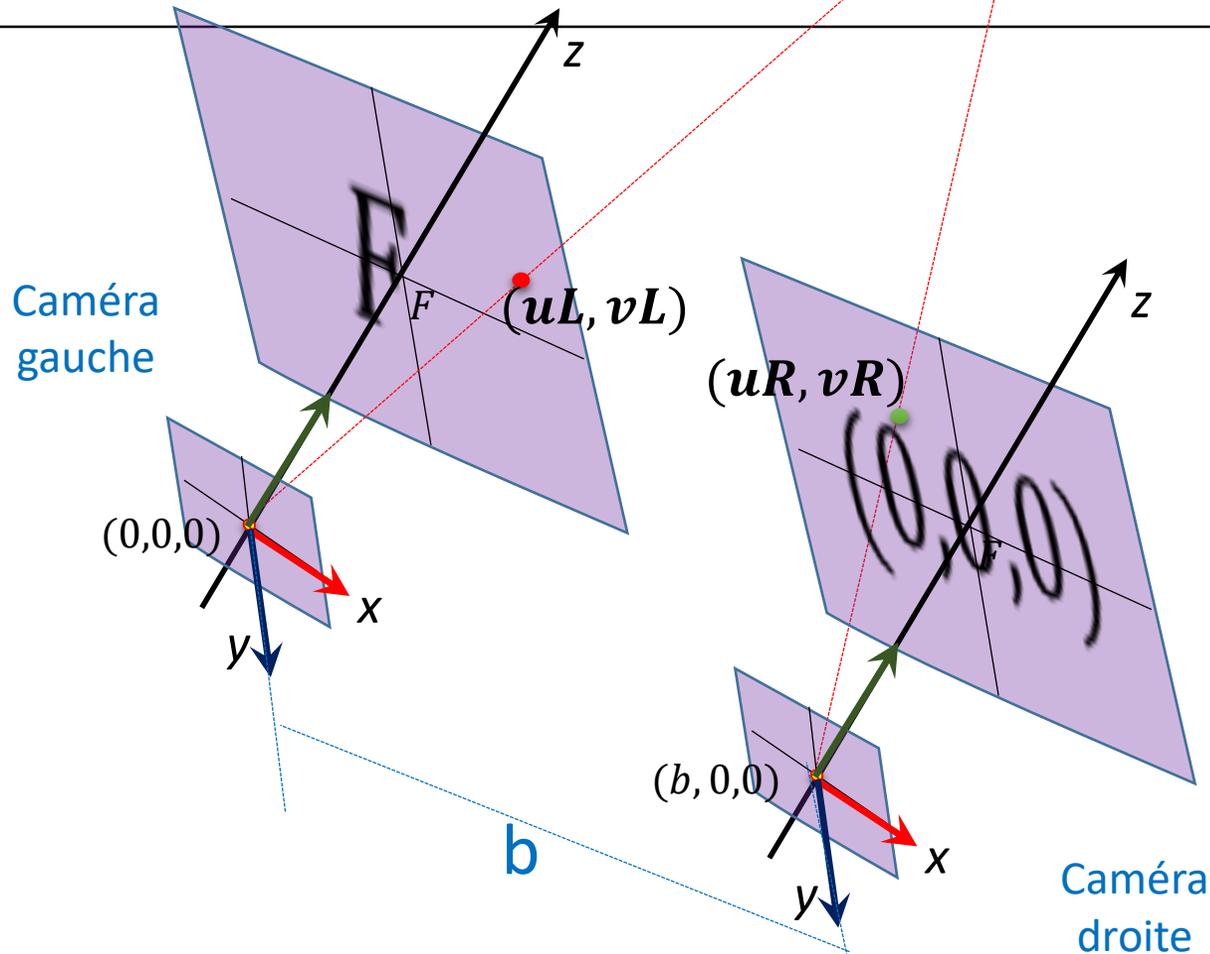
- ✓ f_x, f_y, cx, cy, θ de ma matrice **AP** sont appelés **paramètres intrinsèques** de la caméra
- ✓ *les 3 rotations et les 3 translation* de la matrice **T** sont appelés **paramètres extrinsèques**
- ✓ **le modèle sténopé est décrit par les 5 paramètres intrinsèques et les 6 paramètres extrinsèques**
- ✓ *L'étalonnage (calibrage) d'une caméra consiste à déterminer les paramètres intrinsèques et extrinsèques de la caméra*



La matrice de distorsion (distortion matrix) $(k_1, k_2, k_3, p_1, p_2)$

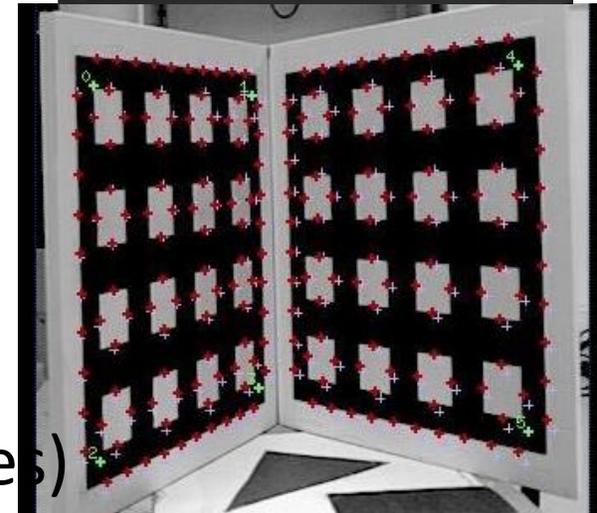
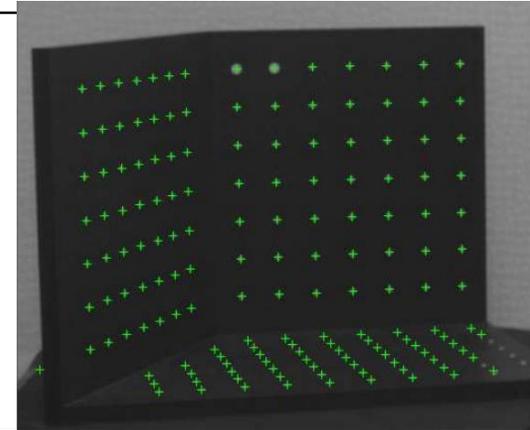
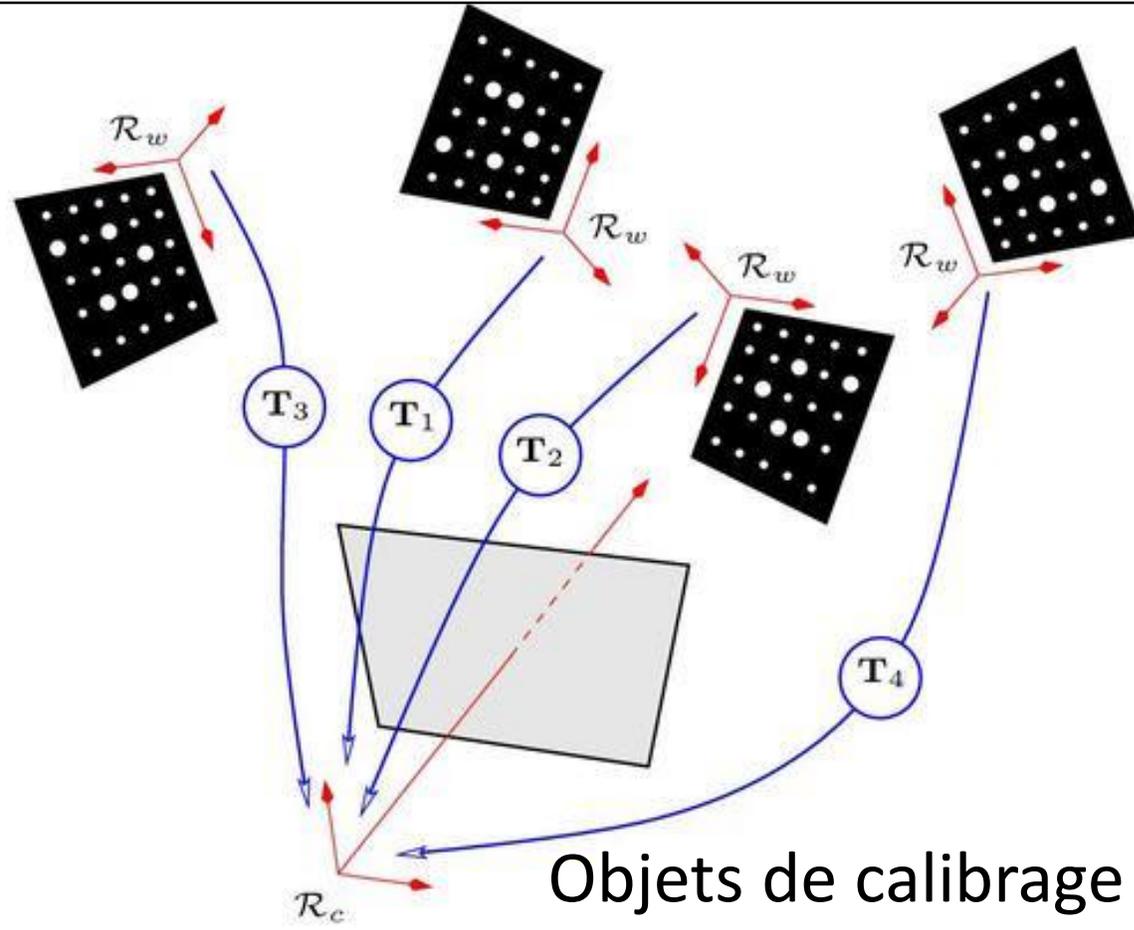
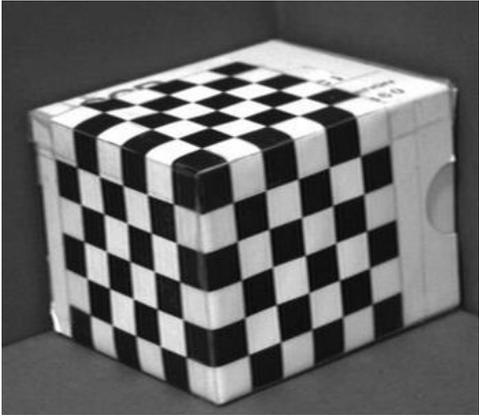
Calibration et Stéréovision

La stéréovision : Il s'agit de calculer les coordonnées 3D d'un point à partir de ses deux images, connaissant le modèle de projection de chaque caméra et la relation spatiale entre les deux caméras.

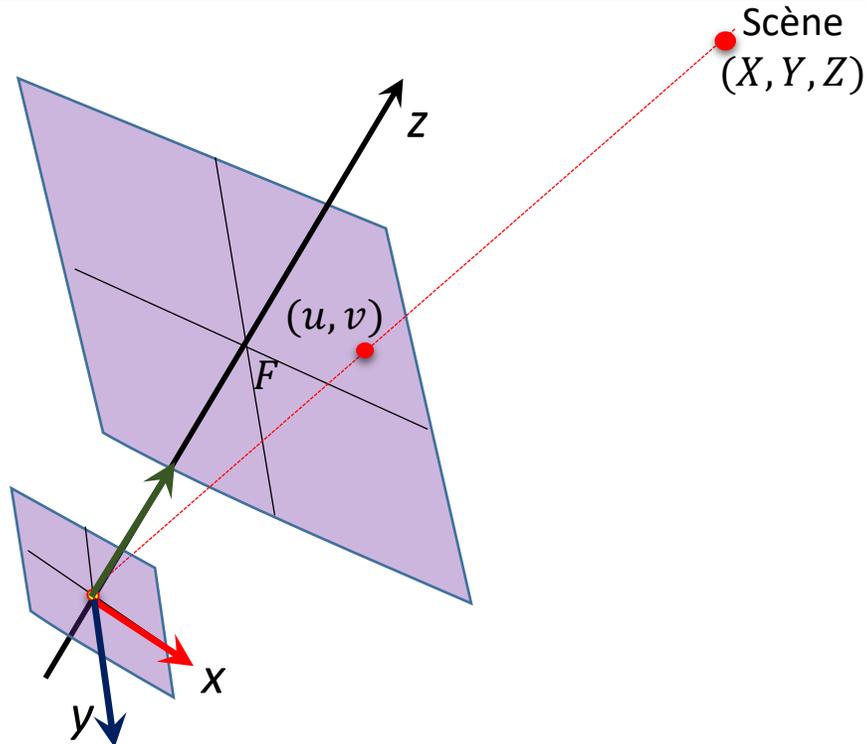


Calibration et Stéréovision

Le calibrage stéréoscopique : Consiste à déterminer la matrice de transformation entre les deux repères des deux caméras (gauche et droite).



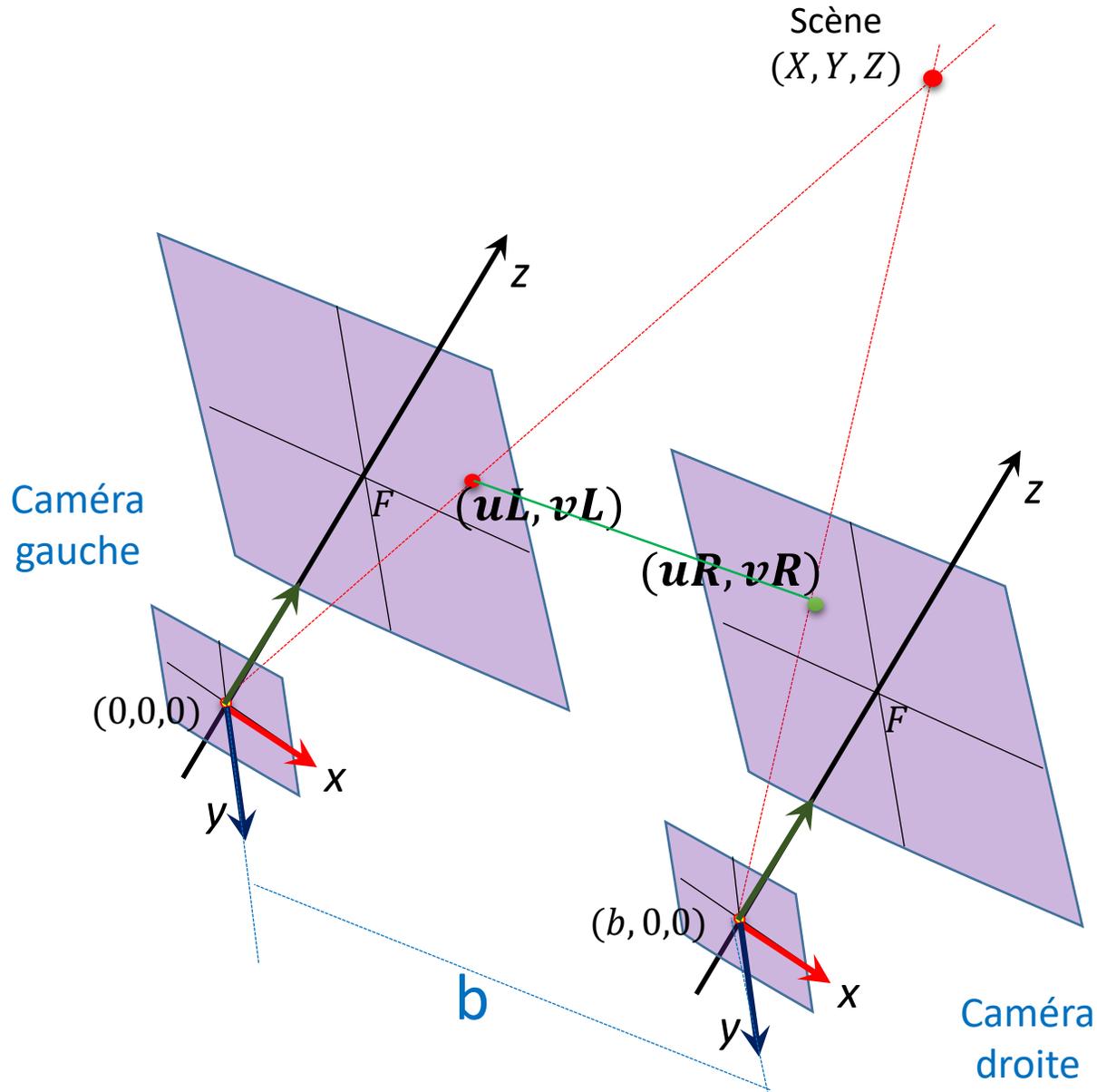
Le calibrage des caméras : Consiste à déterminer les paramètres intrinsèques et extrinsèques
Auto calibrage : il s'agit de calculer relativement les paramètres extrinsèques et intrinsèques aboutissant vers une structure 3D relative à la scène.



$$\text{3D vers 2D} \quad \begin{cases} u = f_x \frac{x}{z} + o_x \\ v = f_y \frac{y}{z} + o_y \end{cases}$$

$$\text{2D vers 3D} \quad \begin{cases} x = \frac{z}{f_x} (u - o_x) \\ y = \frac{z}{f_y} (v - o_y) \\ z > 0 \end{cases}$$

Calibration et Stéréovision



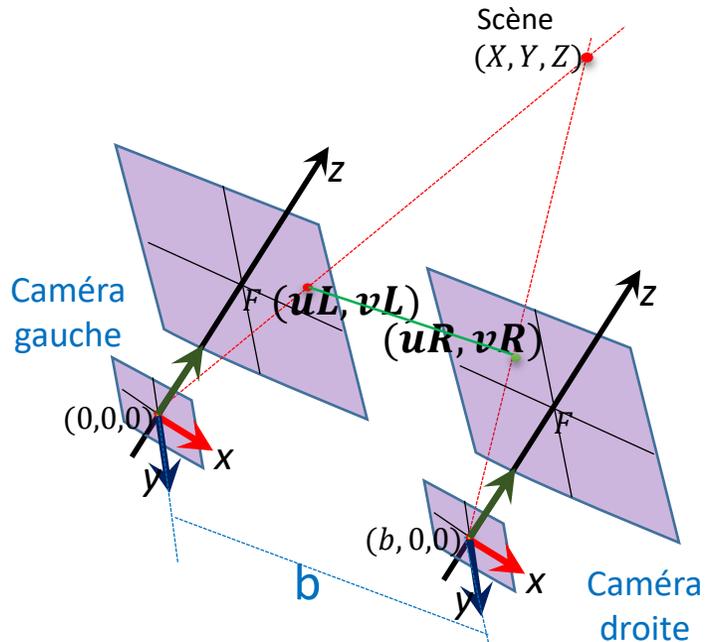
$$\text{3D vers 2D} \quad \begin{cases} u_L = fx \frac{x}{z} + ox \\ v_L = fy \frac{y}{z} + oy \end{cases}$$

$$\text{3D vers 2D} \quad \begin{cases} u_R = fx \frac{x-b}{z} + ox \\ v_R = fy \frac{y}{z} + oy \end{cases}$$

Solution

$$\begin{cases} x = \frac{b(u_L - ox)}{u_L - u_R} \\ y = \frac{bf_x(v_L - oy)}{f_y(u_L - u_R)} \\ z = \frac{bf_x}{u_L - u_R} \end{cases}$$

Calibration et Stéréovision



Solution

$$\begin{cases} x = \frac{b(uL - ox)}{(uL - uR)} \\ y = \frac{bf_x(vL - oy)}{f_y(uL - uR)} \\ z = \frac{bf_x}{(uL - uR)} \end{cases}$$

- $(u_L - u_R)$ la différence du même point de la scène sur les deux images.
- Cette différence s'appelle **disparité**
- Z est inversement proportionnel à la disparité
- Z est proportionnel à b (baseline)

2 - Le modèle photométrique d'une caméra