

<http://tinyurl.com/ift3355>

**IFT 3355: INFOGRAPHIE  
DE 3D À 2D:  
UN LONG VOYAGE**

Livre de référence: G:I.2, S:6



**Mikhail Bessmeltsev**

# TPI

- Comment ça se passe?
- Les contrôleurs font ses premiers pas?
  
- Venez aux démos
- Apprenez comment déboguer
- L'heure de bureaux:
  - Moi: vendredi, 14:30
  - TA: à annoncer (bientôt)

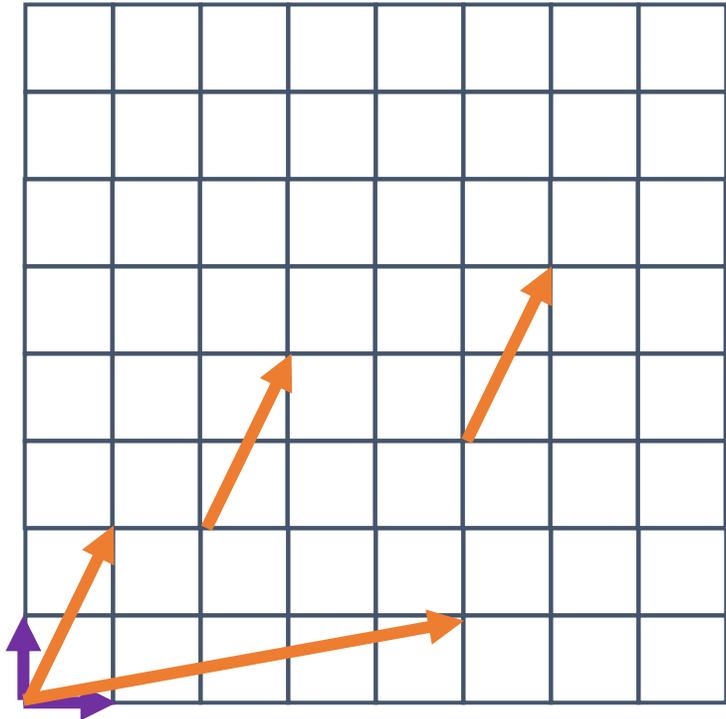


Terrible notation à venir

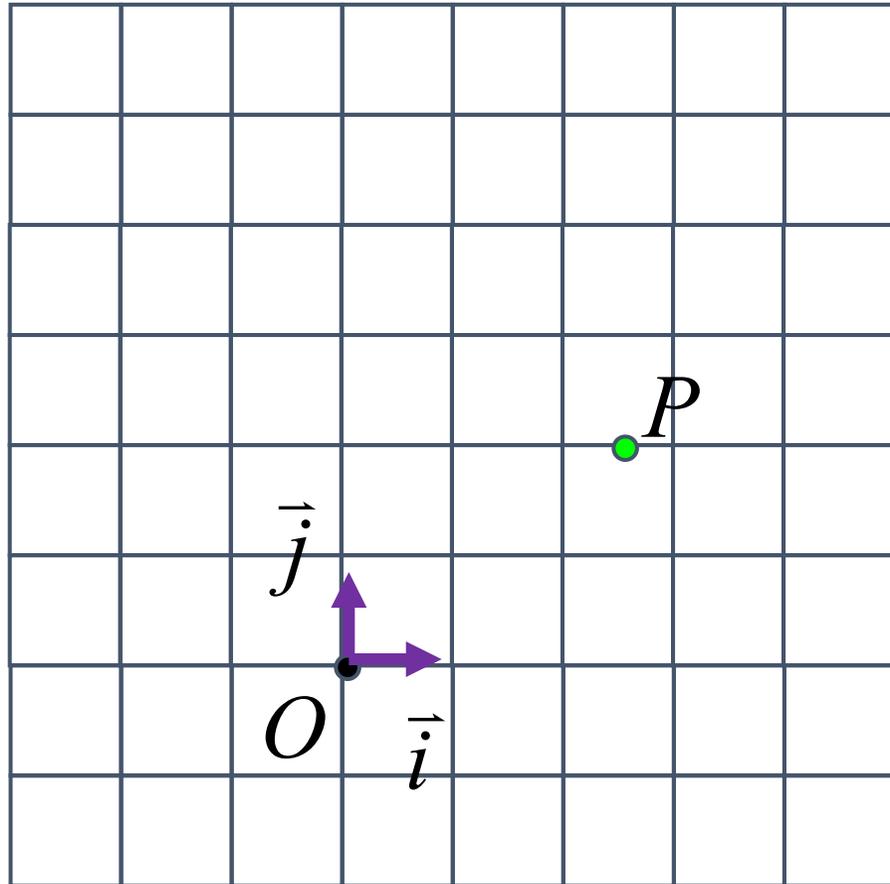
$$[ ] = ( )$$

# LES SYSTÈMES DES COORDONNÉES

Un système des coordonnées = origine + vecteurs de base



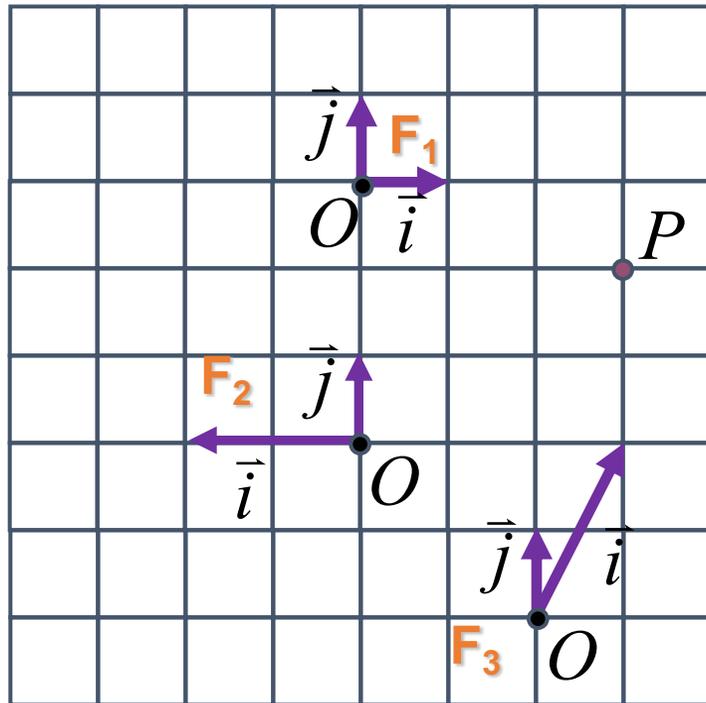
# LES SYSTÈMES DES COORDONNÉES



$$P = O + x\vec{i} + y\vec{j}$$

équivalent:  $P = (x, y)$

# LES SYSTÈMES DES COORDONNÉES



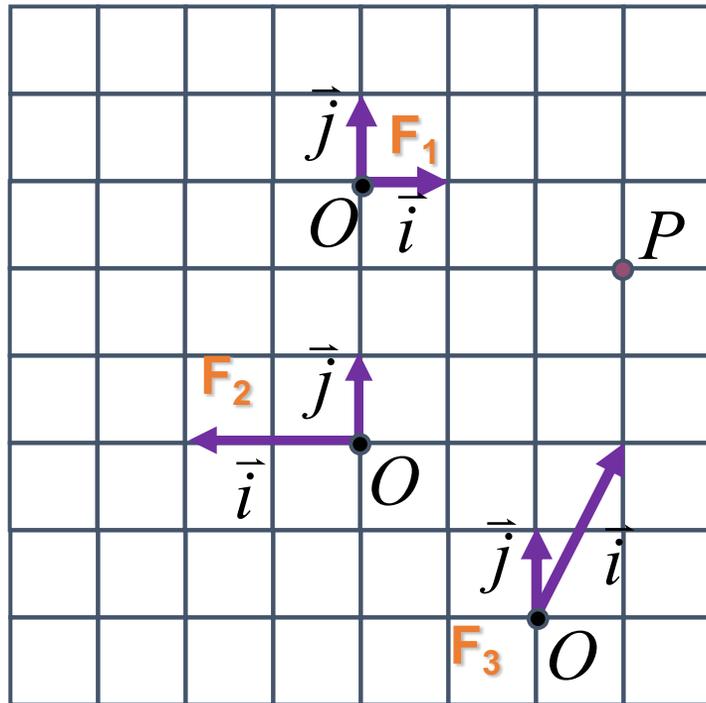
$$P = O + x\vec{i} + y\vec{j}$$

$F_1$

$F_2$

$F_3$

# LES SYSTÈMES DES COORDONNÉES



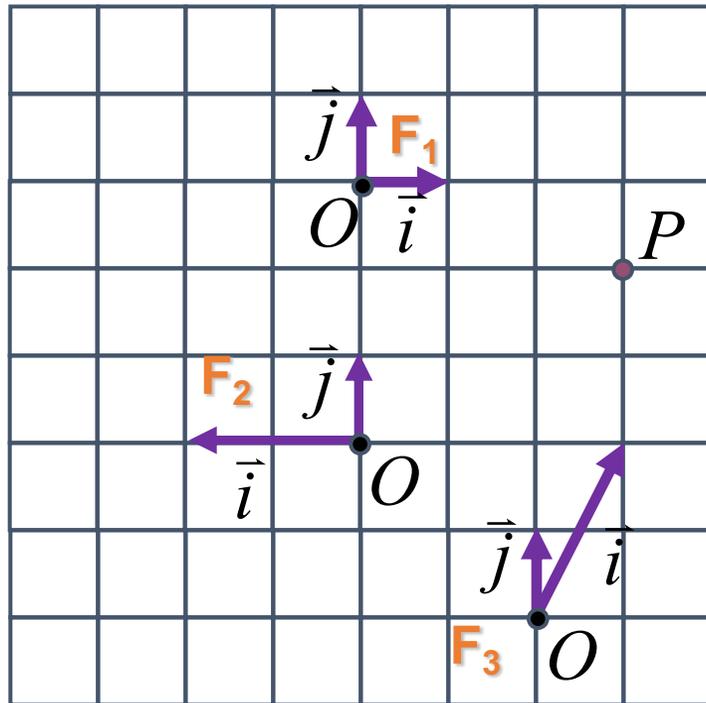
$$P = O + x\vec{i} + y\vec{j}$$

$$F_1 \quad P(3,-1)$$

$$F_2$$

$$F_3$$

# LES SYSTÈMES DES COORDONNÉES



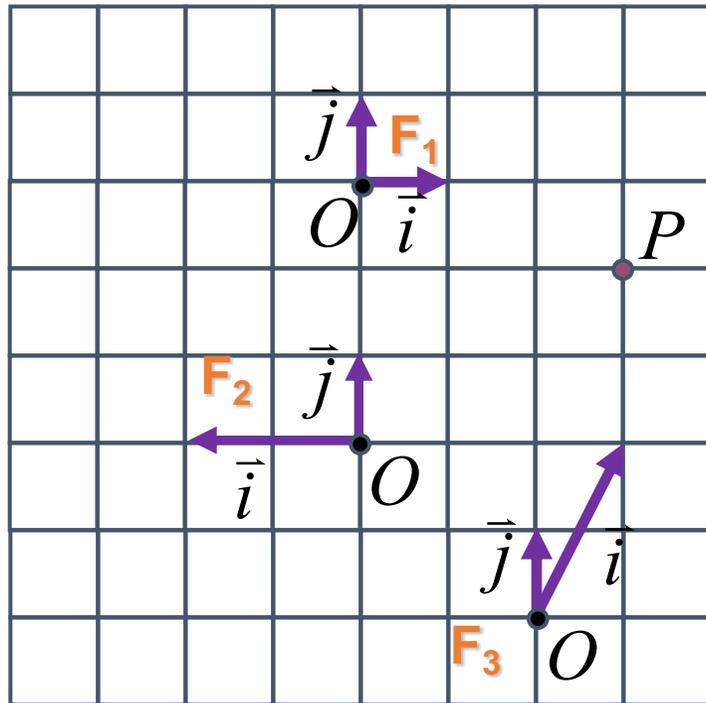
$$P = O + x\vec{i} + y\vec{j}$$

$$F_1 \quad P(3,-1)$$

$$F_2 \quad P(-1.5,2)$$

$$F_3$$

# LES SYSTÈMES DES COORDONNÉES



$$P = O + x\vec{i} + y\vec{j}$$

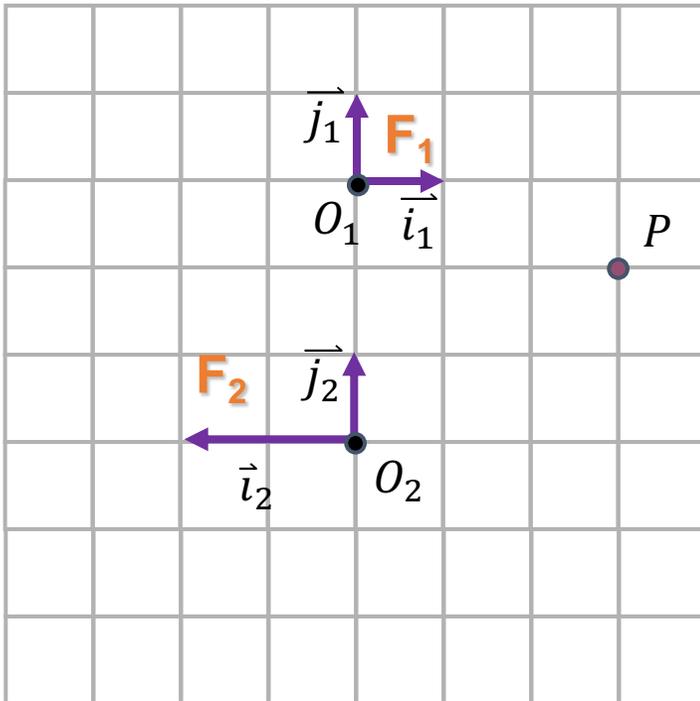
$$F_1 \quad P(3,-1)$$

$$F_2 \quad P(-1.5,2)$$

$$F_3 \quad P(1,2)$$

# LES TRANSFORMATIONS

Les transformations comme changements de systèmes de coordonnées



$$P = O_1 + x_1 \vec{i}_1 + y_1 \vec{j}_1 = O_2 + x_2 \vec{i}_2 + y_2 \vec{j}_2$$

Dans le système de coordonnées 1:

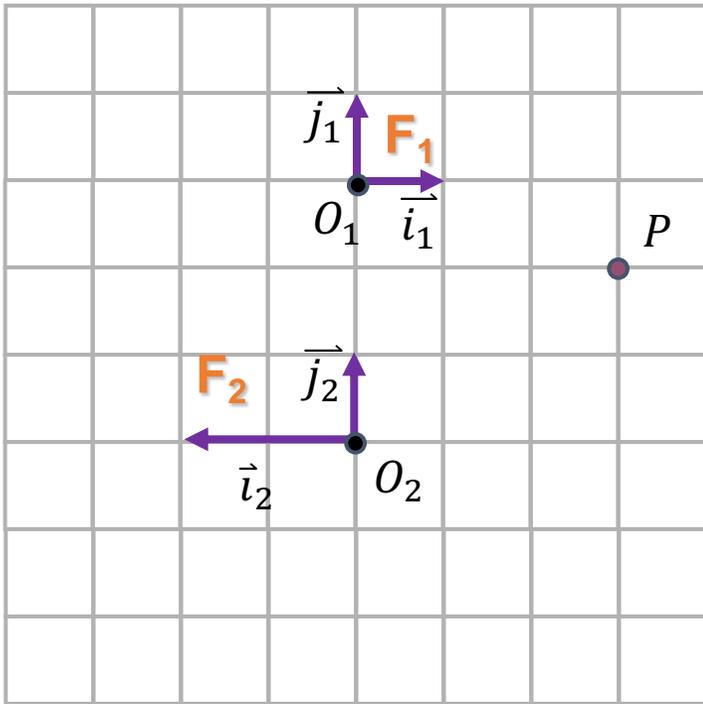
$$P = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} = O_1 + x_1 \vec{i}_1 + y_1 \vec{j}_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} + x_1 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + y_1 \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Exprimons tous ces vecteurs + origine dans système de coordonnées 2:

$$P = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \end{pmatrix} + x_1 \begin{pmatrix} -0.5 \\ 0 \end{pmatrix} + y_1 \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

# LES TRANSFORMATIONS

Les transformations comme changements de systèmes de coordonnées



vérifiez:  $P_1(3,-1)$  devient  $P_2(-1.5,2)$

$$P = O + x\vec{i} + y\vec{j}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}_1 + x_1 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}_1 + y_1 \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}_1$$

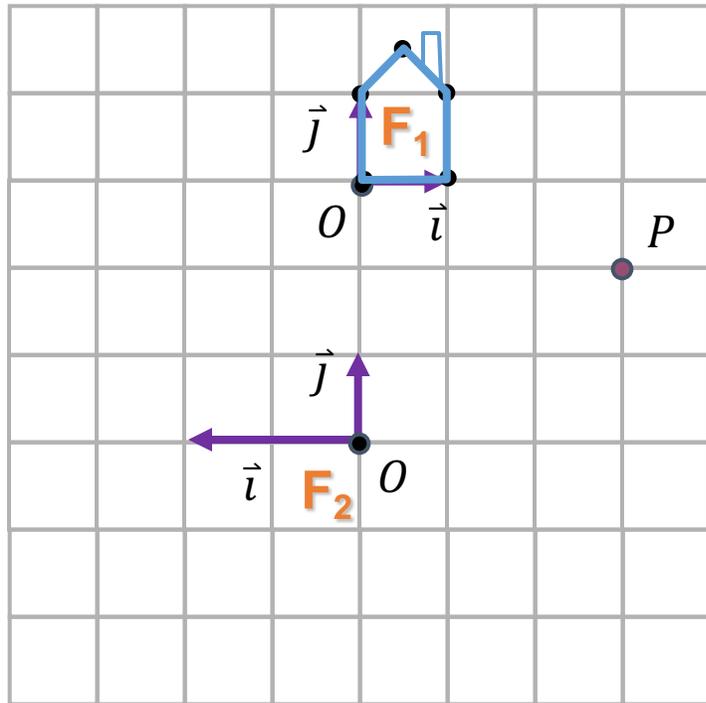
$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \end{bmatrix}_2 + x_1 \begin{bmatrix} -0.5 \\ 0 \end{bmatrix}_2 + y_1 \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}_2$$

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$P_2 = MP_1$$

# LES TRANSFORMATIONS

Changement de base exprimé sous forme de matrice



$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix}$$

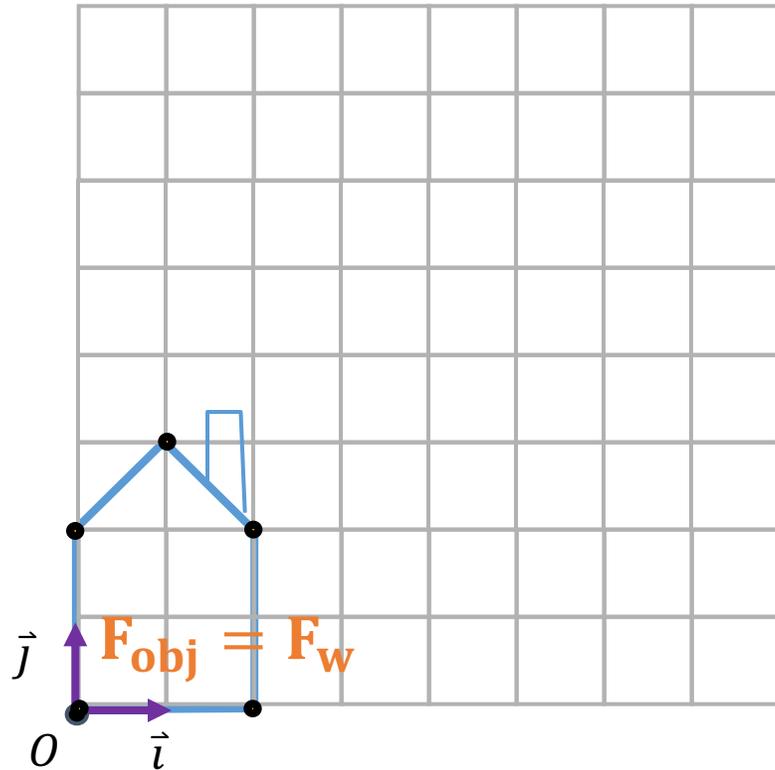
$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 3 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

# UTILISER LES TRANSFORMATIONS

Définissez une matrice de modèle  $M$

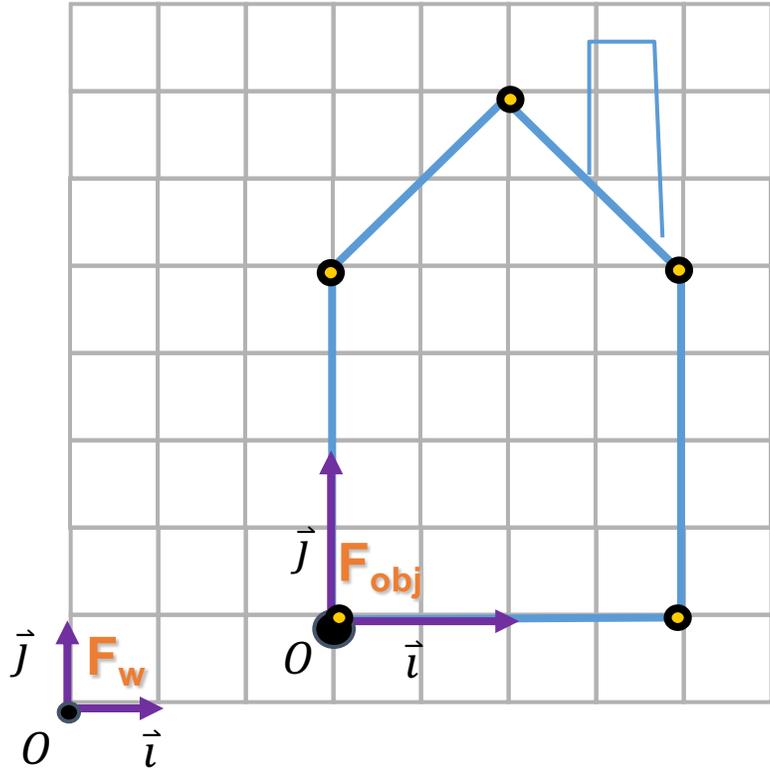
Pour chaque sommet  $v$

$$v' = Mv$$



# UTILISER LES TRANSFORMATIONS

$$P = O + x\vec{i} + y\vec{j}$$



$$\begin{bmatrix} x_{obj} \\ y_{obj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}_{obj} + x_{obj} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}_{obj} + y_{obj} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}_{obj}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_w = \begin{bmatrix} 3 \\ 1 \end{bmatrix}_w + x_{obj} \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix}_w + y_{obj} \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}_w$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_w = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 3 \\ 0 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}_{obj}$$

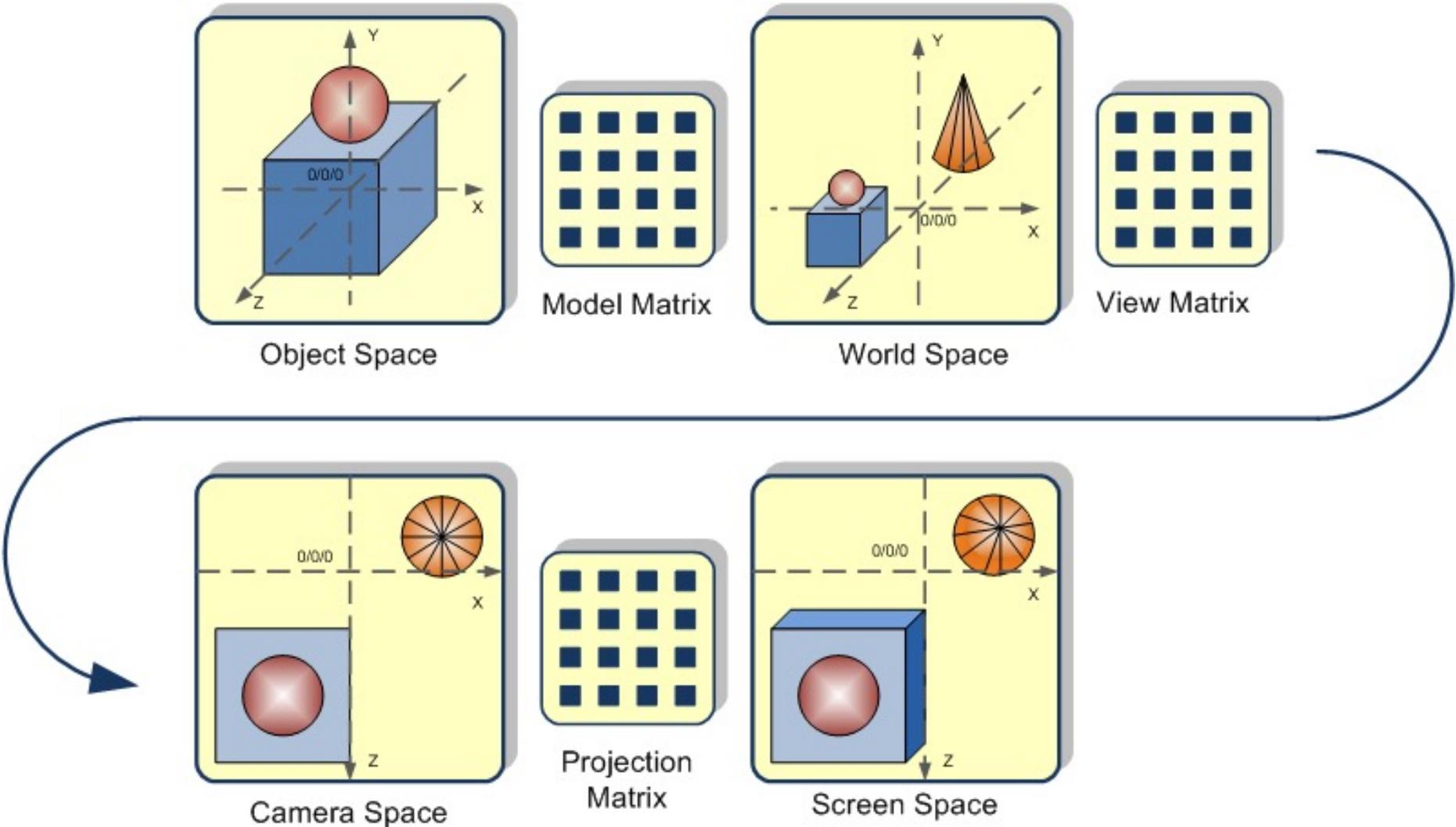
# UTILISER LES TRANSFORMATIONS

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 3 \\ 0 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{2D}} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}_w = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 3 \\ 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}_{obj}$$

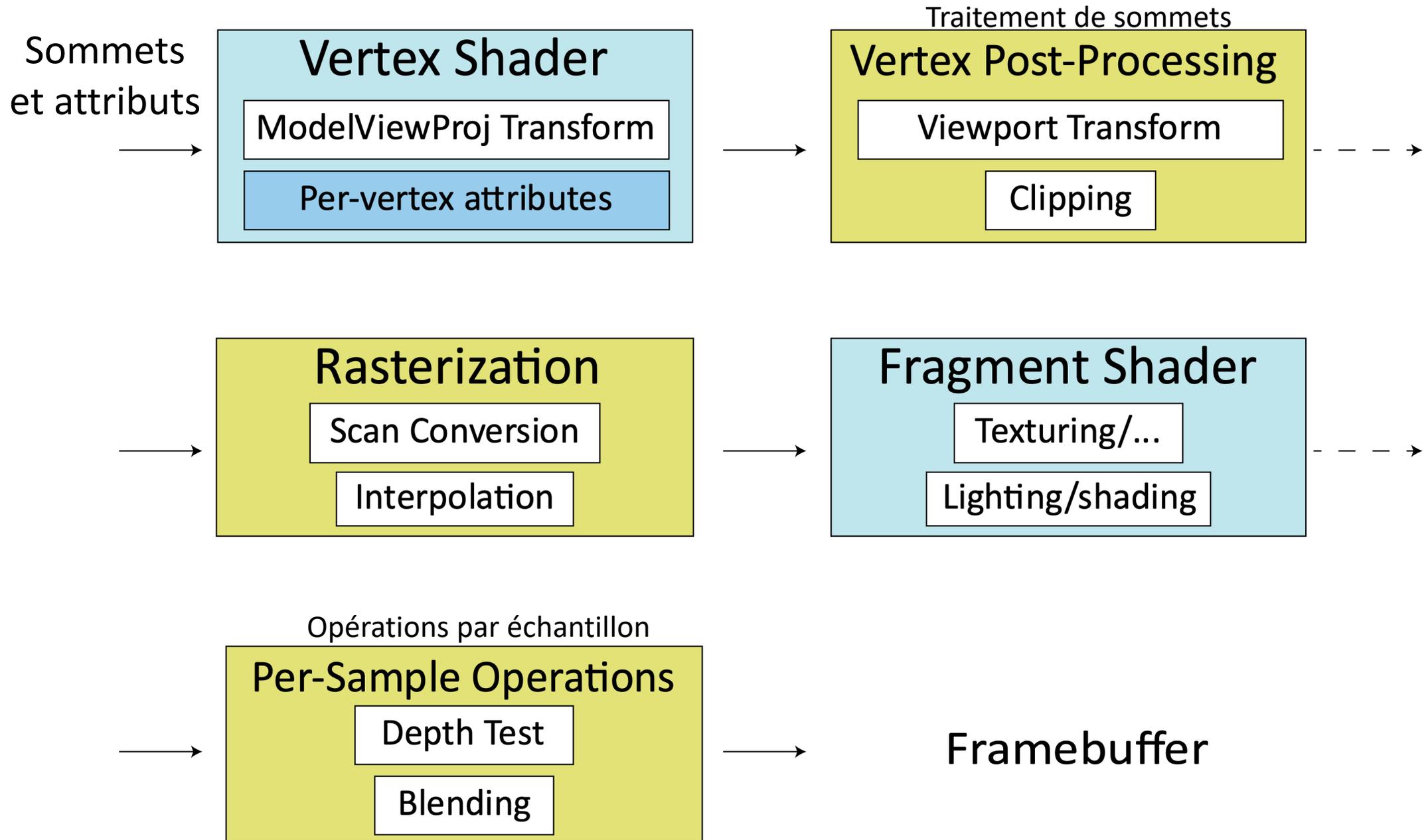
**3D**

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}_w = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}_{obj}$$

# LES SYSTÈMES DES COORDONNÉES



# PIPELINE: PLUS DE DÉTAILS



# COMMENT TRANSFORMER LES COORDONNÉES

- Entre les systèmes de coordonnées
- Ou par animation

# LES MATRICES

- Une représentation plus compacte
- Pour transformer un vecteur, multipliez-le par la matrice

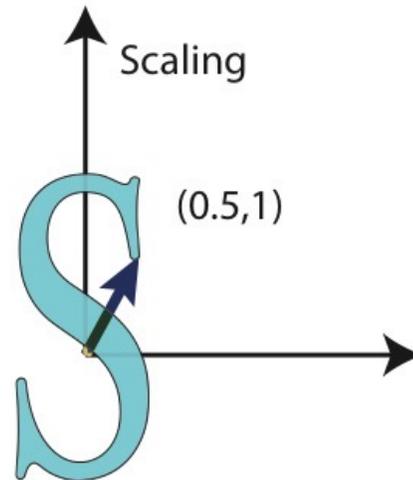
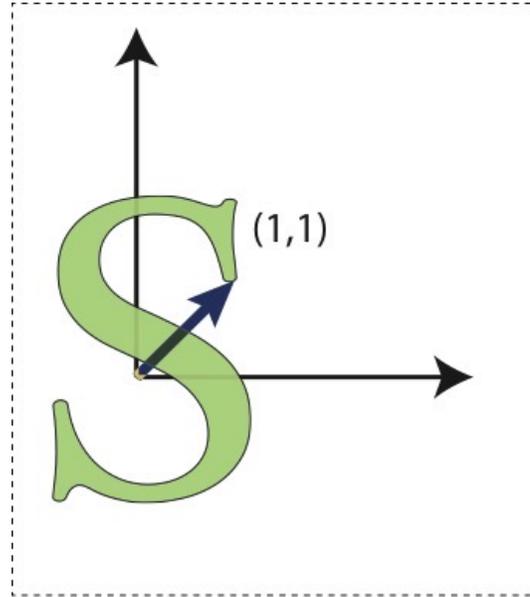
$$v' = M \cdot v$$

- On représente tous les vecteurs par une colonne

$$v = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}$$

# LES MATRICES DE TRANSFORMATIONS

- Changement d'échelle:



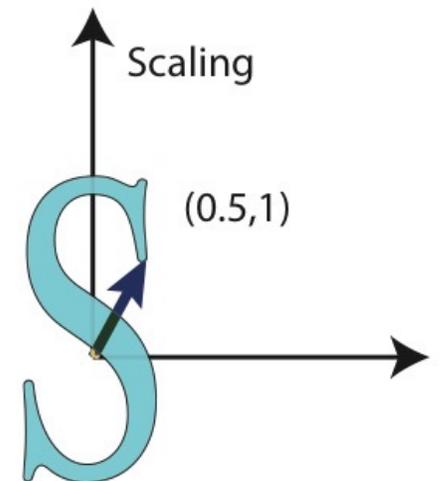
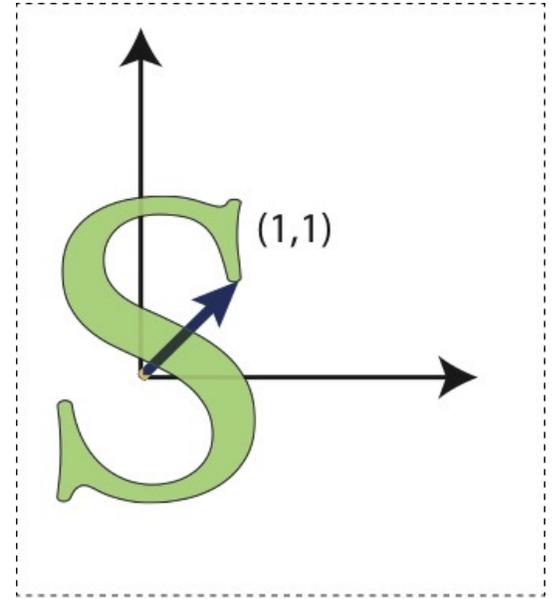
# LES MATRICES DE TRANSFORMATIONS

- Changement d'échelle :

$$M = \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \beta \end{bmatrix}$$

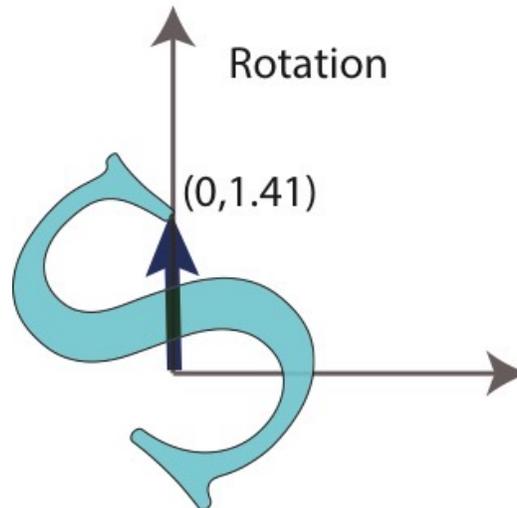
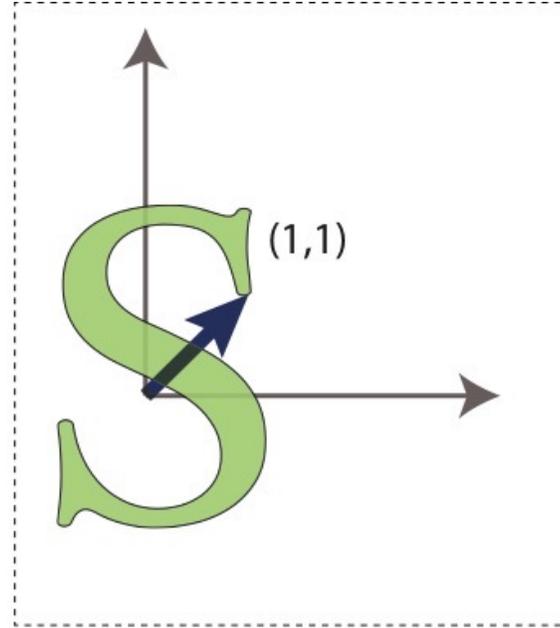
Exemple:

$$\begin{pmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha \\ 2\beta \end{pmatrix}$$



# LES MATRICES DE TRANSFORMATIONS

- Rotation



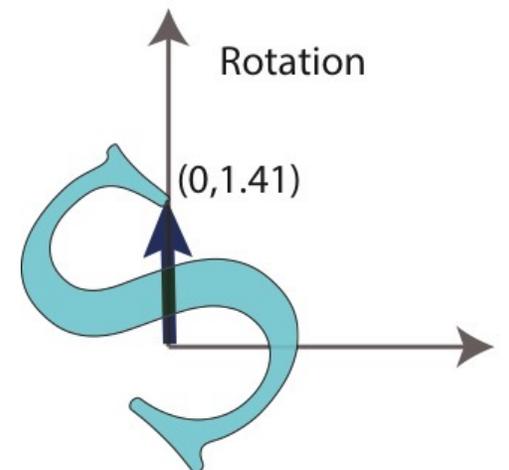
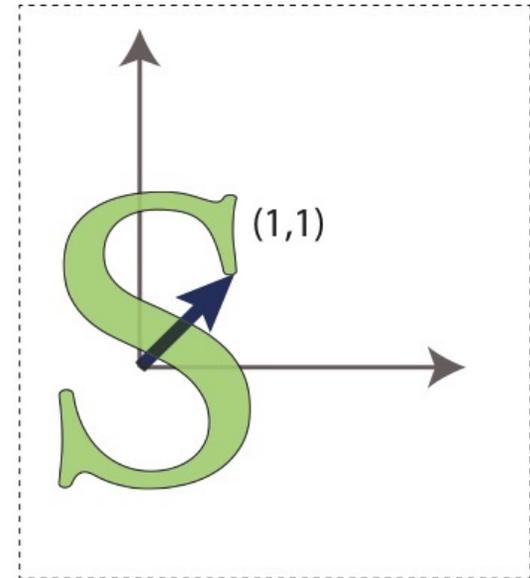
# LES MATRICES DE TRANSFORMATIONS

- Rotation

$$R(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix}$$

Example:

$$\begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) - \sin(\alpha) \\ \cos(\alpha) + \sin(\alpha) \end{pmatrix}$$



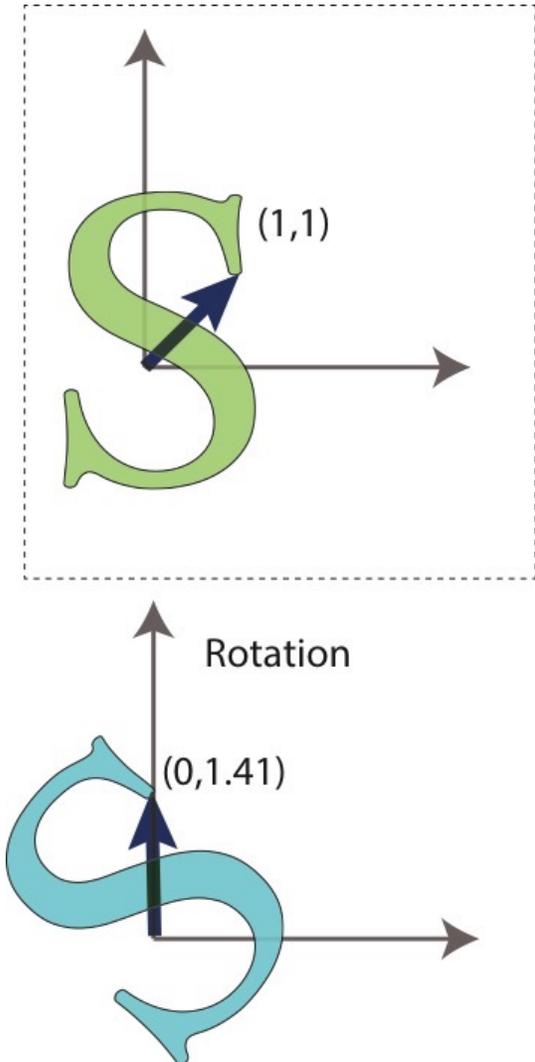
# LES MATRICES DE TRANSFORMATIONS

- Rotation

$$R_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



# LES PROPRIÉTÉS DE ROTATION

- $R(\alpha)$  est la matrice orthogonale

$$R(\alpha)^{-1} = R(\alpha)^T$$

# LES PROPRIÉTÉS DE ROTATION

- $R(\alpha)$  est la matrice orthogonale

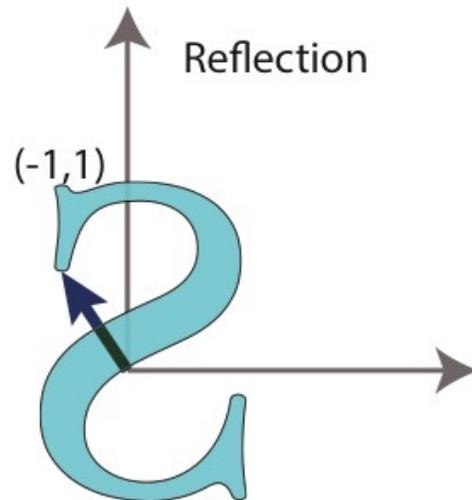
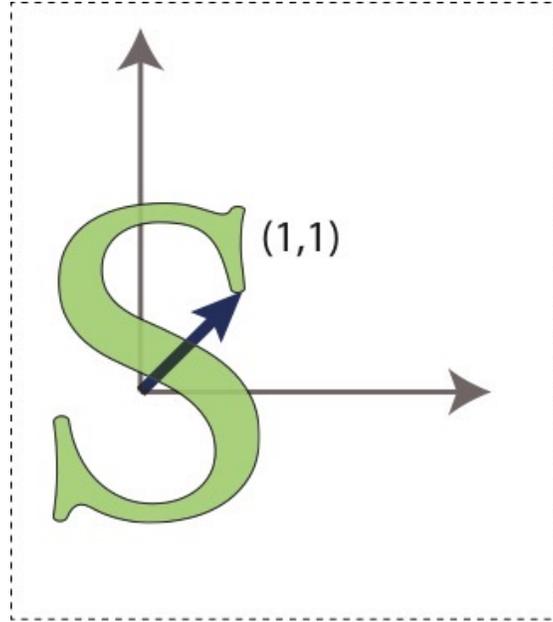
$$R(\alpha)^{-1} = R(\alpha)^T$$

- Donc, pour tourner en arrière (i.e. par  $-\alpha$ ), c'est

$$R(-\alpha) = \begin{bmatrix} \cos(-\alpha) & -\sin(-\alpha) \\ \sin(-\alpha) & \cos(-\alpha) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} = R(\alpha)^T$$

# LES MATRICES DE TRANSFORMATIONS

- Réflexion



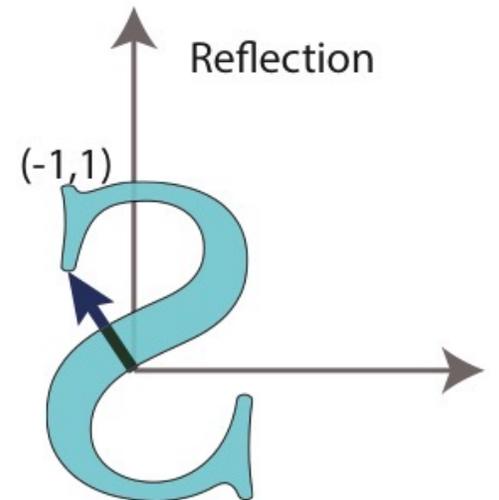
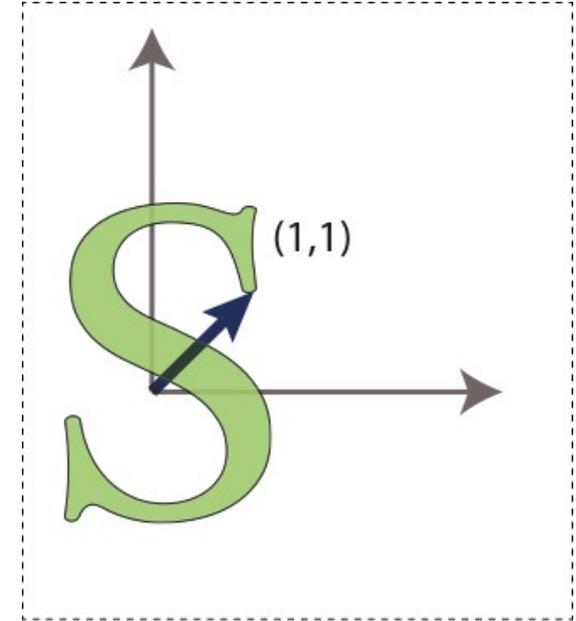
# LES MATRICES DE TRANSFORMATIONS

- Réflexion

$$M = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ or } M = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Exemple:

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



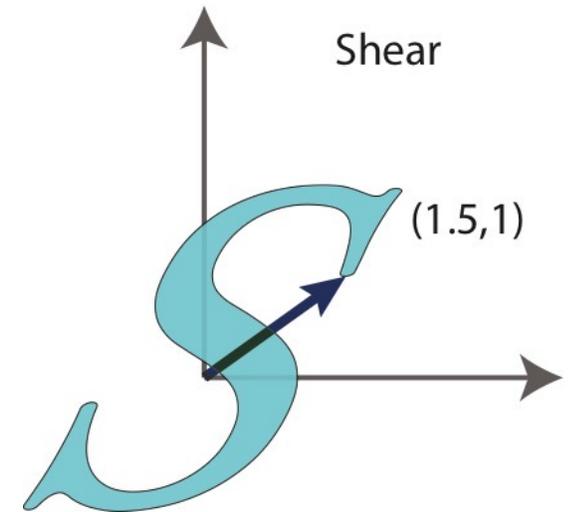
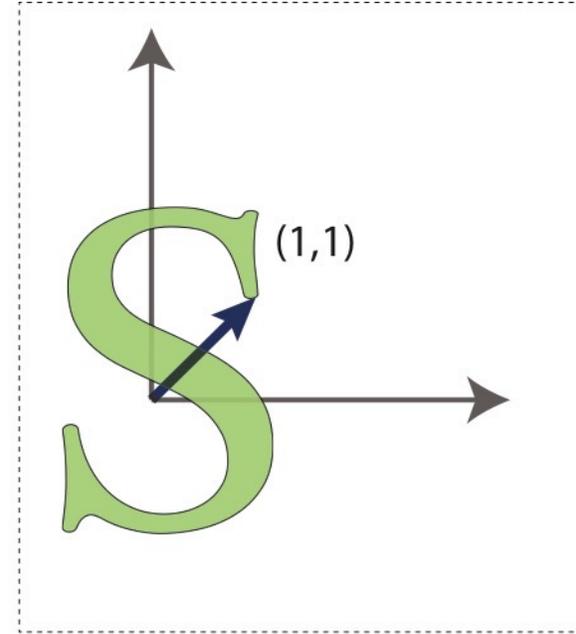
# LES MATRICES DE TRANSFORMATIONS

- Cisaillement

$$M = \begin{bmatrix} 1 & \lambda \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ or } M = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \lambda & 1 \end{bmatrix}$$

Exemple:

$$\begin{bmatrix} 1 & \lambda \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x + \lambda y \\ y \end{pmatrix}$$



# UNE TRANSFORMATION LINÉAIRE

Une transformation  $L$  est *linéaire* si pour deux vecteurs  $u, v$

$$L(u) + L(v) = L(u + v) \quad \text{additivité}$$

Et un scalaire  $\alpha$

$$\alpha \cdot L(u) = L(\alpha u) \quad \text{homogénéité de degré 1}$$

# UNE TRANSFORMATION LINÉAIRE

Une transformation  $L$  est *linéaire* si pour deux vecteurs  $u, v$

$$L(u) + L(v) = L(u + v)$$

additivité

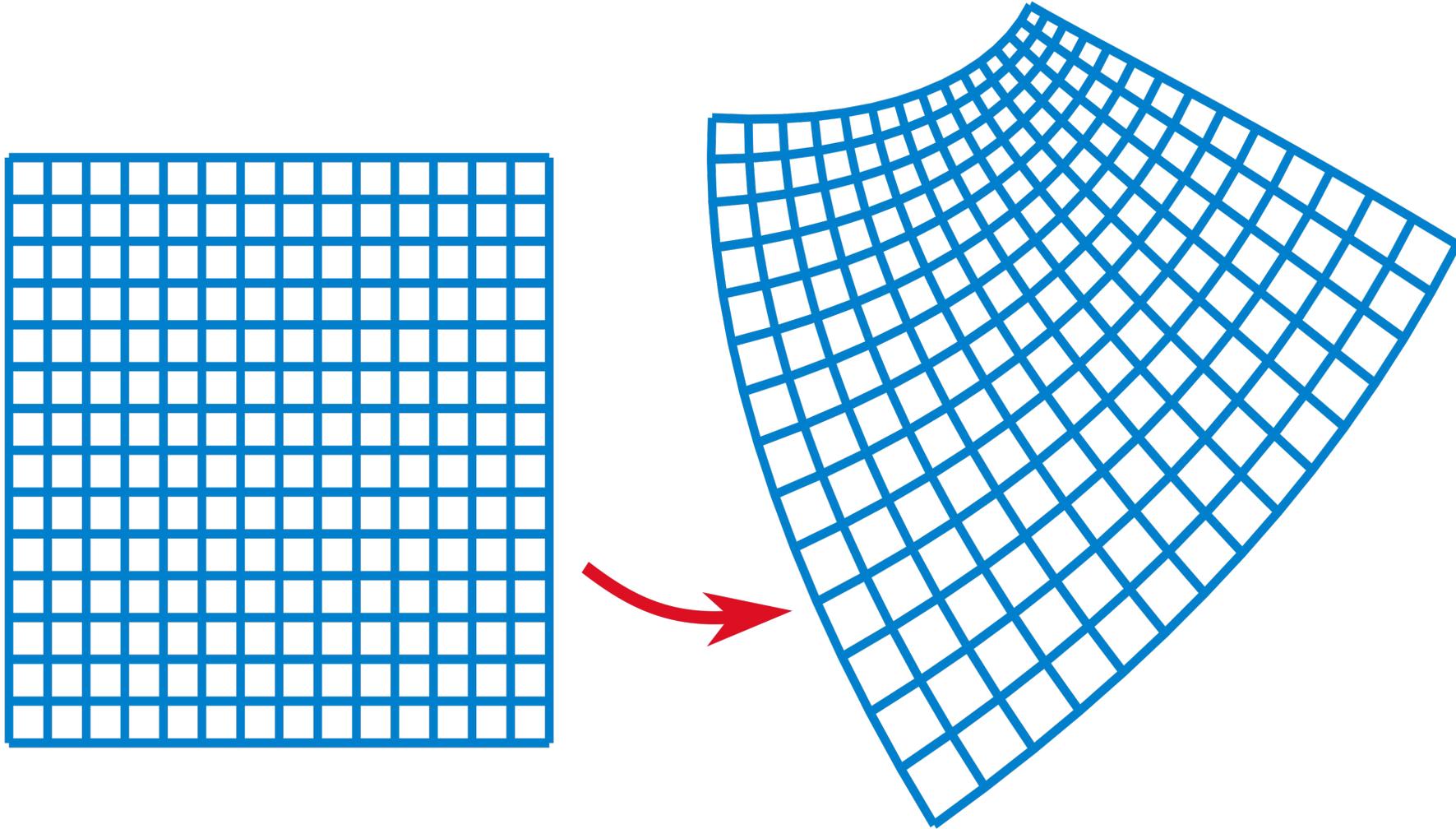
$$\alpha \cdot L(u) = L(\alpha u)$$

homogénéité de degré 1

Corollaire: Les lignes restent des lignes. (“Les transformations linéaires préservent la colinéarité”)

- Pas vrai pour toute transformation.

# UNE TRANSFORMATION NON-LINÉAIRE



# UNE TRANSFORMATION LINÉAIRE

homogénéité de degré 1

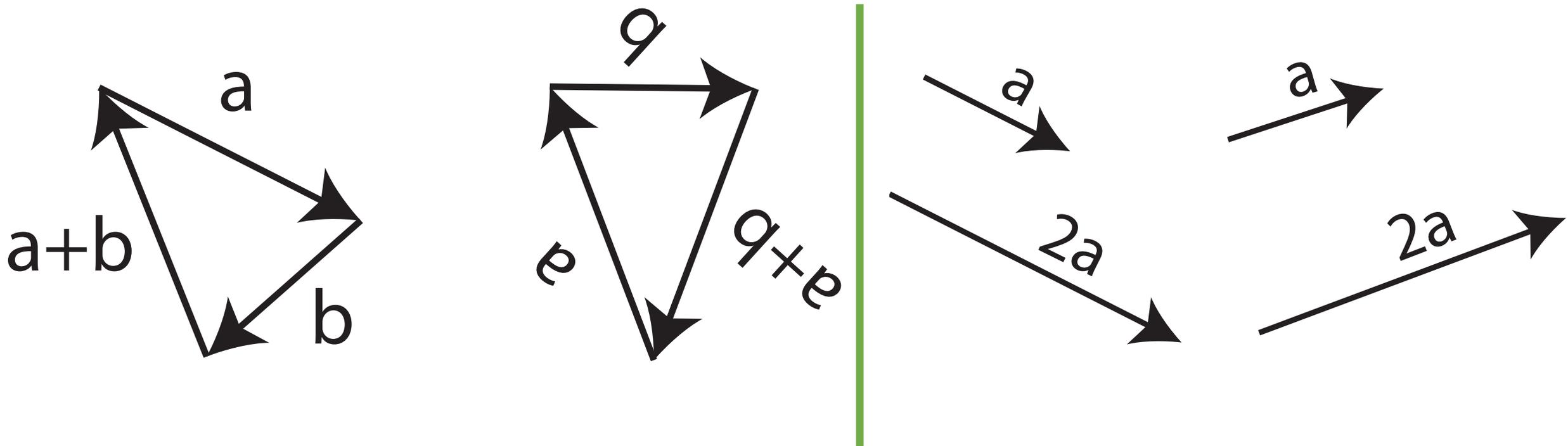
$$\alpha \cdot L(u) = L(\alpha u)$$

- En particulier,

$$L(\mathbf{0}) = \mathbf{0}$$

# JUSTE POUR EN ÊTRE CERTAIN

- Les rotations sont linéaires
  - Elles sont représentables par une matrice
  - Mais aussi on peut le vérifier directement:



# MULTIPLICATION DES MATRICES

- La multiplication des matrices satisfait ces exigences:

additivité

$$L(u) + L(v) = L(u + v)$$

$$M(u + v) = Mu + Mv$$

homogénéité de degré 1

$$\alpha \cdot L(u) = L(\alpha u)$$

$$\alpha \cdot Mu = M \cdot (\alpha u)$$

- Donc toutes les transformations représentées par une matrice sont LINÉAIRES

Que fait cette transformation 2D?

- A. Elle tourne de 90 degrés
- B. Elle change d'échelle par 2
- C. Elle tourne de -90 degrés
- D. Rien

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Que fait cette transformation 2D?

- A. Elle tourne de 90 degrés
- B. Elle reflète l'objet
- C. Elle tourne de -90 degrés
- D. Elle change d'échelle

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

# TRANSLATION

- On a un problème.
- Translation:

$$L: u \rightarrow u + b$$
$$L(0) = b \neq 0$$

La translation n'est pas une transformation linéaire et ne peut pas être représentée par une matrice dans cet espace.

# TRANSLATION

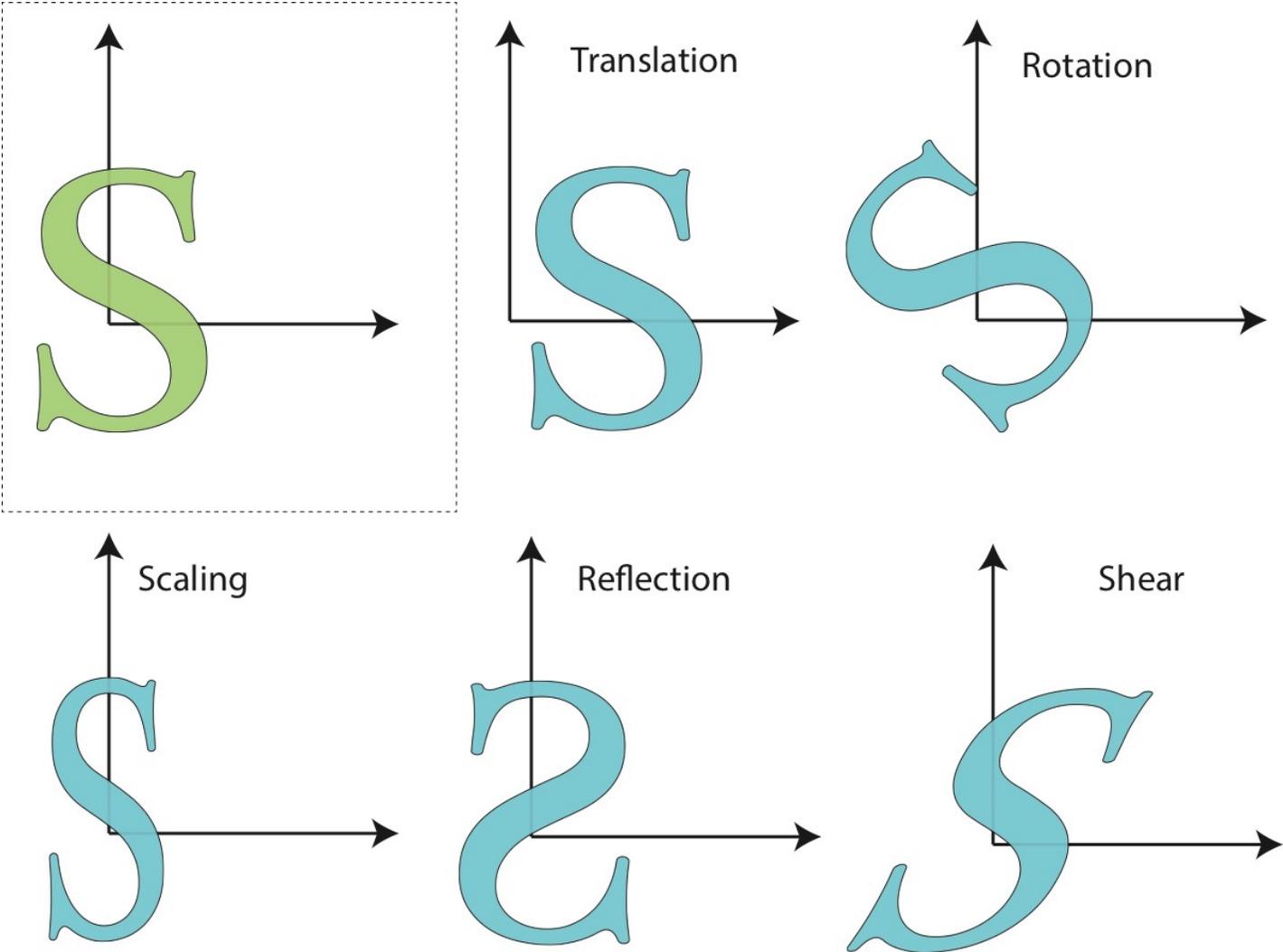
- On a un problème.
- Translation:

$$L: u \rightarrow u + b$$
$$L(0) = b \neq 0$$

La translation n'est pas une transformation linéaire et ne peut pas être représentée par une matrice dans cet espace.

On a besoin de plus de puissance.

# LES TRANSFORMATIONS AFFINES



# LES TRANSFORMATIONS AFFINES: VECTEUR POSITION

