

Images de Synthèse Animées

Nicolas Holzschuch

Cours d'Option Majeure 2

`Nicolas.Holzschuch@imag.fr`

Plan

- Plan du cours
 - Questions techniques
- Vue d'ensemble de la synthèse
- Coordonnées homogènes
- Modélisation paramétrique

Plan du cours (1)

- Techniques d'image de synthèse
 - Techniques de base
 - Formant un tout cohérent
 - Vues de façon très pratique
- La technique n'est pas tout :
 - Art
 - Interface utilisateur
 - Non traités en cours, mais essentiels

À propos de vous

- Motivations, envies ?
- Arrière-plan, connaissances :
 - Informatique :
 - Majeure 1 Informatique ?
 - C, C++ ?
 - OpenGL ?
 - Math/Physique :
 - ODE ? RK4 ? Maxwell ? Cinématique inverse ?

Questions techniques

- Les TD :
 - Avec OpenGL
 - Langage C
- Examen :
 - Oral
 - Projets ?

Livre de cours ?

- Les diapos de chaque cours sont (seront) sur le site web :

http://artis.imag.fr/~Nicolas.Holzschuch/cours/isa_maj2.html

- Si vous voulez en savoir plus :
 - Foley, vanDam, Feiner et Hughes
 - *Computer Graphics, Principles and Practice*
 - Gros, complet, cher
 - Ou bien : *Introduction to Computer Graphics*
 - Moins gros, moins complet, moins cher
 - Traduit en français : *Introduction à l'infographie*
 - E. Haines & T. Möller, *Real-Time Rendering*

Plan du cours (2)

- Modélisation
 - Modèles paramétriques
 - Modèles hiérarchiques
 - Déformations du modèle
- Animation
 - Cinématique inverse
 - Résolution des équations différentielles
 - Particules, masse-ressort,...
- Rendu (temps-réel)
 - Modèles complexes de matériaux
 - Ombres en temps-réel
 - Affichage temps-réel : niveaux de détail, etc.

Images de Synthèse

- Processus à plusieurs étapes
 - Modélisation (+ artiste)
 - Animation
 - Keyframe, cinématique, contraintes, dynamique
 - Aspects réaliste
 - Contraintes de l'histoire
 - Rendu
 - Affichage
 - Aspect réaliste
 - Contraintes de temps

Films d'animation

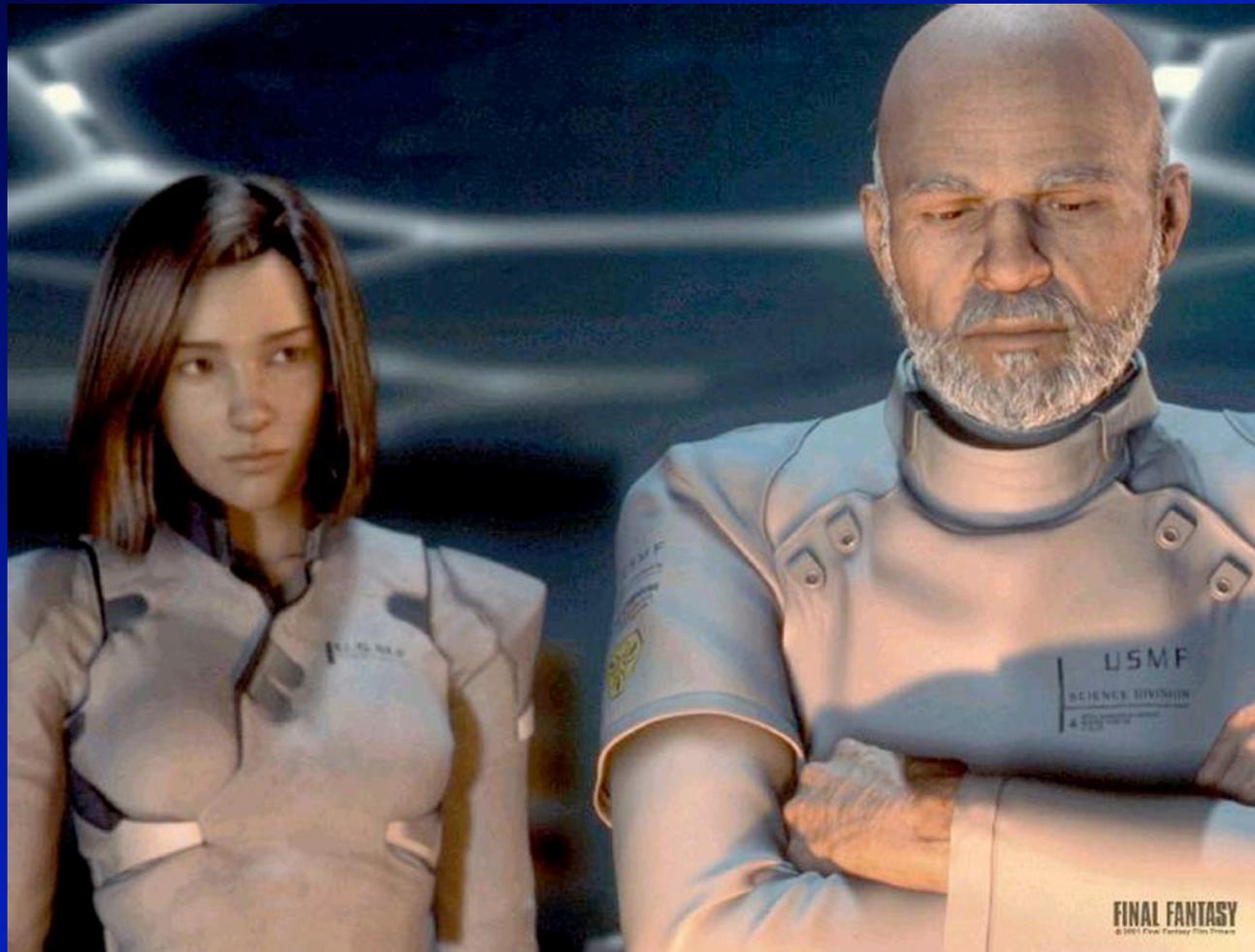
- Story-board
- Modèle géométrique
 - Dessin, sculpture, scanner 3D
- Animation :
 - Mouvements à grande échelle
 - Mouvements précis
- Rendu :
 - Rendu rapide pour vérification (tps réel)
 - Rendu complet :
 - 90 mn par image, 25 img/sec, 1h30 de film = 202500 h de calcul

Du concret

- DVD

Rendu (suite)

- Rendu temps-réel de plus en plus sophistiqué :



10 fps en 2001
(NVIDIA demo,
Siggraph 2001.)

Plan

- Plan du cours
 - Questions techniques
- Vue d'ensemble de la synthèse
- Coordonnées homogènes
- Modélisation paramétrique

Transformations géométriques

- Représentation vectorielle des points
 - Points attachés aux primitives graphiques
 - Sommets, centres, données volumiques...
- Transformations sur ces données
 - Translation, rotation, changement d'échelle...
 - Projections :
 - Perspective, parallèle...
 - Notation unifiée ?

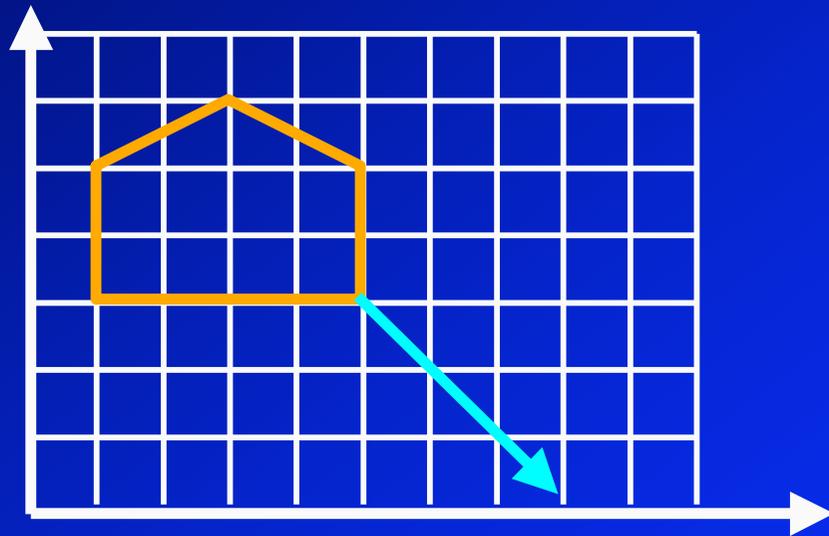
En 2 dimensions

- On commence en 2D
 - Plus facile à représenter
- Chaque point est transformé:
 - $x' = f(x,y)$
 - $y' = g(x,y)$
- Comment représenter la transformation ?

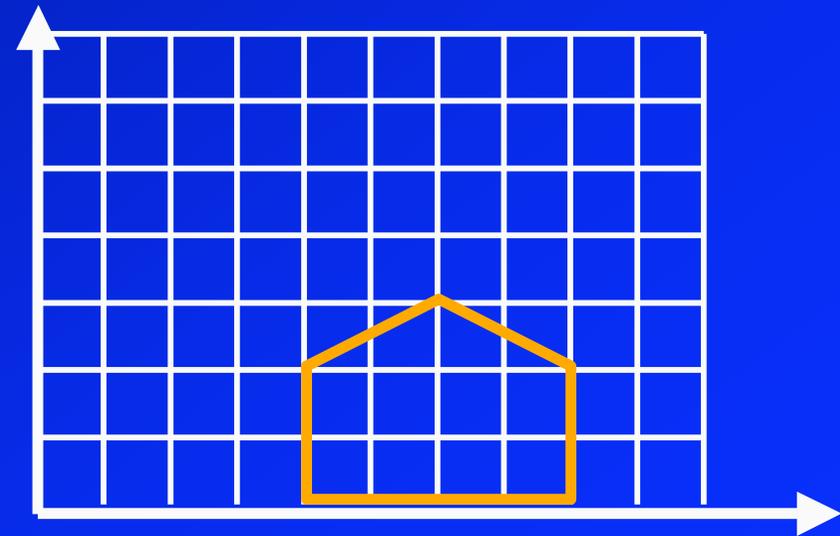
Translations

- Modification simple :

- $x' = x + t_x$
- $y' = y + t_y$



Avant



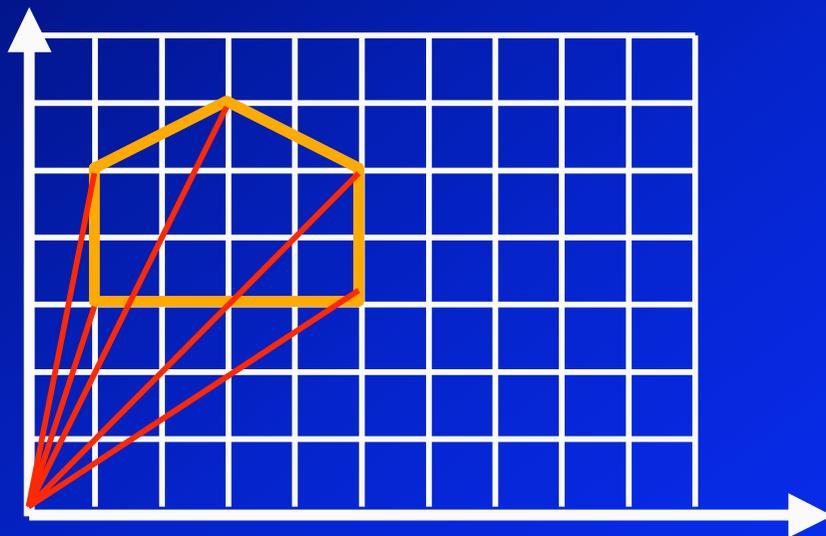
Après

Changement d'échelle

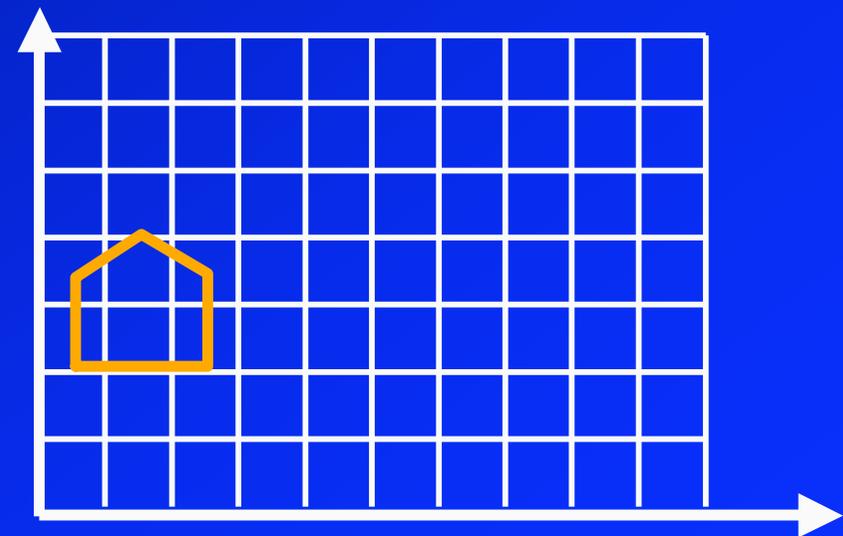
- Les coordonnées sont multipliées par le facteur de changement d'échelle :

- $x' = s_x x$

- $y' = s_y y$



Avant



Après

Notation matricielle

- C'est une multiplication matricielle :

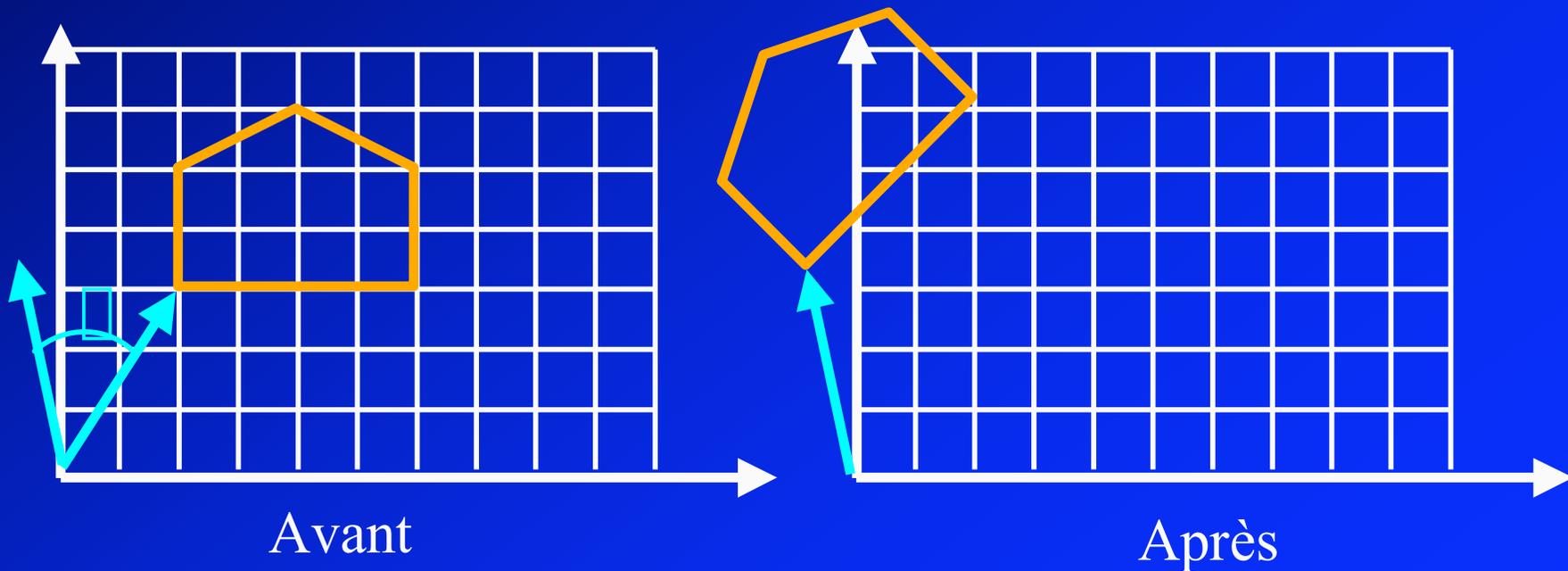
$$P' = SP$$

$$\begin{bmatrix} \square & x & \square & \square \\ \square & & \square & \square \\ \square & & & \square \\ \square & y & \square & \square \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \square & s_x & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & \square & x & \square \\ & \square & & \square \\ s_y & \square & \square & \square \\ & \square & & \square \end{bmatrix}$$

Rotation

• Rotation en 2D :

- $x' = \cos\theta x - \sin\theta y$
- $y' = \sin\theta x + \cos\theta y$



Notation matricielle

- Rotation = multiplication matricielle :

$$P' = RP$$

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

Unification

- Notation simple, concise
- Mais pas vraiment unifiée
 - Addition ou bien multiplication
 - Comment faire pour concaténer plusieurs transformations ?
- On veut une notation unique
 - Qui permette de noter aussi les combinaisons de transformations
 - Comment faire ?

Coordonnées homogènes

- Outil géométrique très puissant :
 - Utilisé partout en Infographie (Vision, Synthèse)
 - *cf.* aussi géométrie projective
- On ajoute une troisième coordonnée, w
- Un point 2D devient un vecteur à 3 coordonnées :

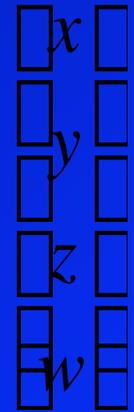
$$\begin{bmatrix} \square & x & \square \\ \square & y & \square \\ \square & w & \square \end{bmatrix}$$

Coordonnées homogènes

- Deux points sont égaux si et seulement si :
 - $x'/w' = x/w$ et $y'/w' = y/w$
- $w=0$: points « à l'infini »
 - Très utile pour les projections, et pour certaines splines

Et en 3 dimensions ?

- C'est pareil
- On introduit une quatrième coordonnée, w
 - Deux vecteurs sont égaux si :
 $x/w = x'/w'$, $y/w = y'/w'$ et $z/w = z'/w'$
- Toutes les transformations sont des matrices 4x4



Translations en c. homogènes

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + wt_x \\ y + wt_y \\ w \end{bmatrix}$$

Changement d'échelle

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{x}{w} \\ \frac{y}{w} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{x}{w} \\ \frac{y}{w} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x x \\ s_y y \\ w \end{bmatrix}$$

Rotation

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

$$\begin{bmatrix} \frac{x}{w} \\ \frac{y}{w} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{x}{w} \\ \frac{y}{w} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta x - \sin \theta y \\ \sin \theta x + \cos \theta y \\ w \end{bmatrix}$$

Composition des transformations

- Il suffit de multiplier les matrices :
 - composition d'une rotation et d'une translation:

$$\mathbf{M} = \mathbf{RT}$$

- Toutes les transformations 2D peuvent être exprimées comme des matrices en coord. homogènes
 - Notation très générale

Rotation autour d'un point Q

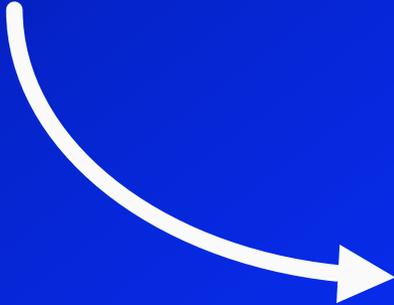
- Rotation autour d'un point Q:
 - Translater Q à l'origine (T_Q),
 - Rotation autour de l'origine (R_\square)
 - Translater en retour vers Q ($-T_Q$).



$$P' = (-T_Q) R_\square T_Q P$$

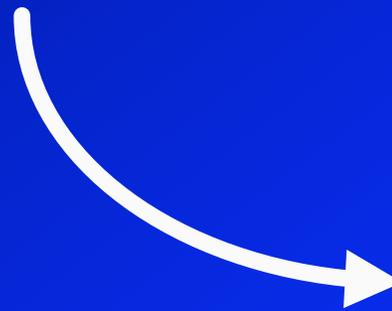
Translations en 3D

$$T(t_x, t_y, t_z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$


$$\begin{aligned} x &= x + wt_x \\ y &= y + wt_y \\ z &= z + wt_z \\ w &= w \end{aligned}$$

Changement d'échelle en 3D

$$S(s_x, s_y, s_z) = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



$$\begin{aligned} x &= s_x x \\ y &= s_y y \\ z &= s_z z \\ w &= w \end{aligned}$$

Rotations en 3D

- Rotation : un axe et un angle
- La matrice dépend de l'axe et de l'angle
- Expression directe possible, en partant de l'axe et de l'angle, et quelques produits vectoriels
 - Passage par les quaternions
- Fait par la librairie graphique :
 - `glRotatef(angle, x, y, z)`

Toutes les transformations 3D

- Toute transformation 3D s'exprime comme combinaison de translations, rotations, changement d'échelle
 - Et donc comme une matrice en coordonnées homogènes
- Fournies par la librairie graphique :
 - `glTranslatef(x, y, z);`
 - `glRotatef(angle, x, y, z);`
 - `glScalef(x, y, z);`

Transformations 3D (suite)

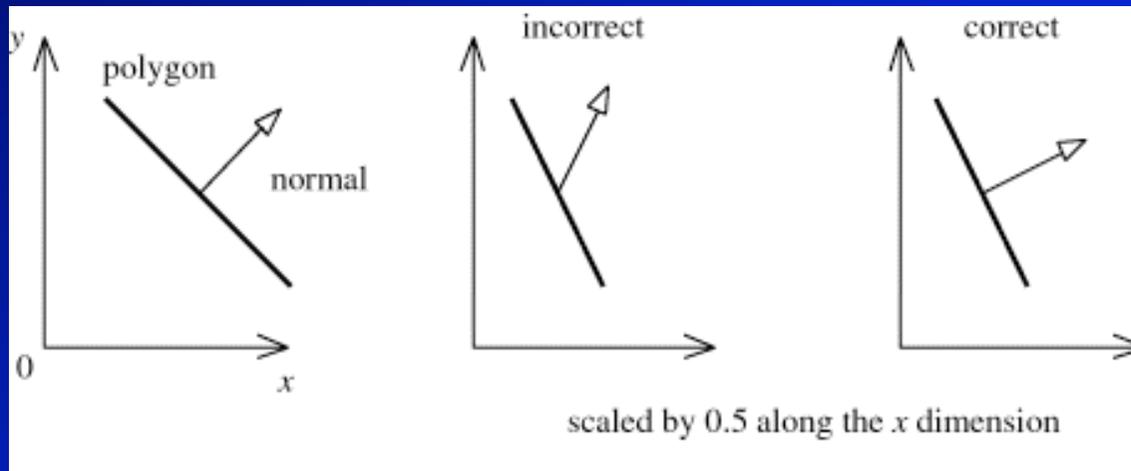
- On peut faire ses transformations soi-même :
 - `glLoadIdentity();`
 - `glLoadMatrixf(pm);`
 - `glMultMatrixf(pm);`
- Pile de transformations :
 - `glPushMatrix();`
 - `glPopMatrix();`

Exemple

```
drawHighLevelObject(parameters) {  
    glPushMatrix()  
    glRotate(...)  
    glTranslate(...)  
    glScale(...)  
    drawSimpleShape()  
    glPopMatrix()  
}  
drawModel() {  
    glPushMatrix()  
    drawHighLevelObject1(...)  
    glTranslate(...)  
    drawHighLevelObject2(...)  
    [etc...]  
    glPopMatrix()  
}
```

Transformation des normales

- Vecteur normal (à la surface)
- Pas vraiment un vecteur
 - Définit une relation sur les vecteurs
 - Une forme linéaire, un co-vecteur



©R. Barzel, 2002

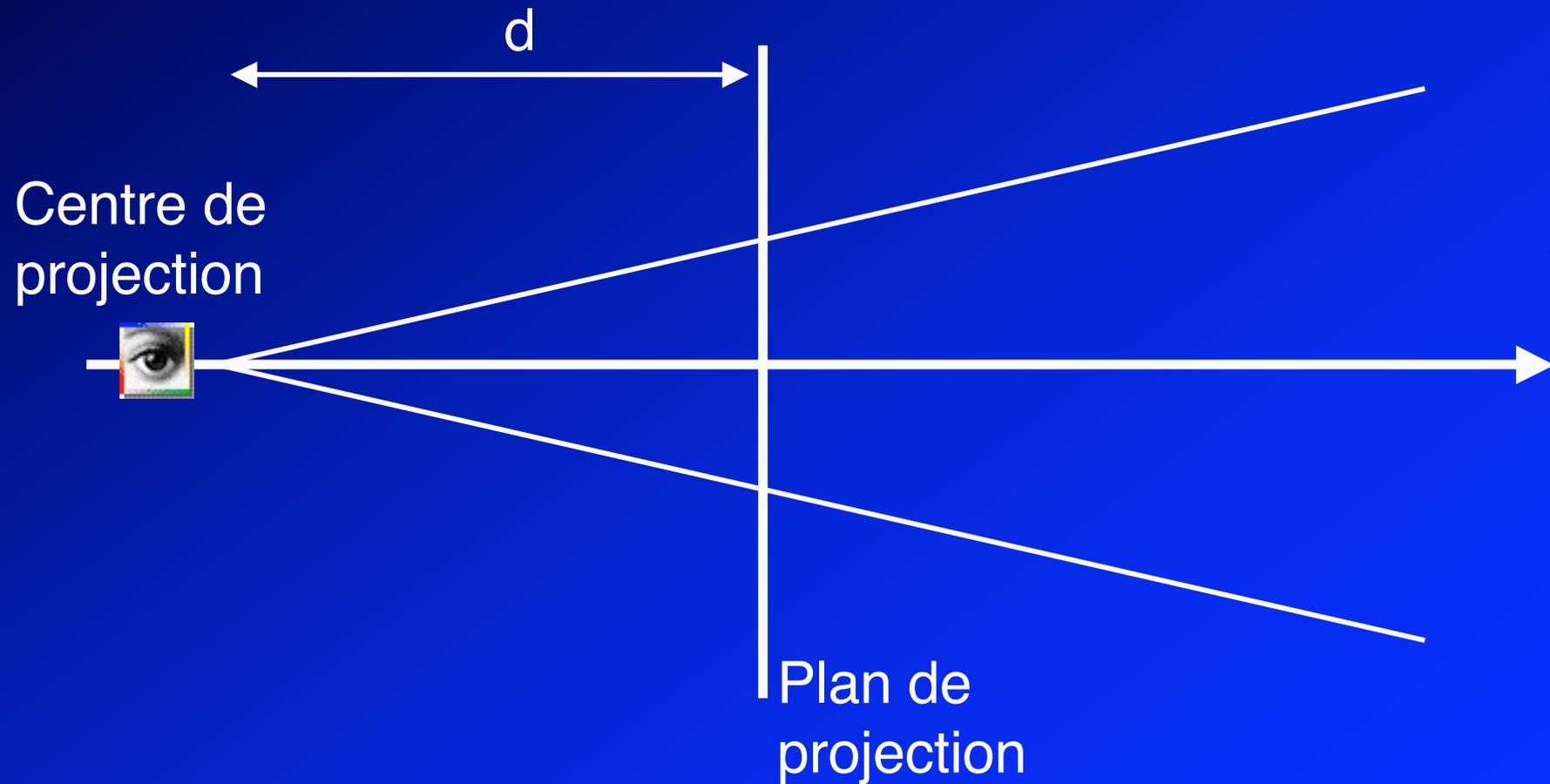
- Transformation en utilisant la transposée de l'inverse de M

Supplément : Projection perspective

- Projection sur le plan $z=0$, avec le centre de projection placé à $z=-d$:

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

Supplément : perspective (suite)



Supplément : perspective (suite)

- Coord. homogènes essentielles pour perspective
- La rétrécissement des objets utilise w

$$w \square = \frac{z}{d} + w$$

$$\frac{x \square}{w \square} = \frac{x}{\frac{z}{d} + w}$$

- Impossible sans coordonnées homogènes

Perspective : en pratique

- Fait par la librairie graphique :
 - `gluLookAt(Eyex, Eyey, Eyez, Centerx, Centery, Centerz, upx, upy, upz);`
 - `gluPerspective(fovy, aspect, zNear, zFar);`

Modélisation paramétrique

- Dit aussi *modélisation procédurale*
 - Modèle fait par un programme
 - Fondamental en infographie
- Paramètres de position
- Paramètres de forme
 - Forme des parties de l'objet
 - Position relative des parties de l'objet

Exemple : bonhomme de neige



Exemple : bonhomme de neige

- Trois sphères empilées
- Paramètres :
 - Écrasement
 - Inclinaison
 - Pour chaque sphère
- Sujet du TD 1
 - Modèle 2D, représentation 3D

Modélisation paramétrique

- Routine draw()
- OpenGL effectue les actions de base
 - Élimination des parties cachées,
 - Modèle simple d'éclairage
- OpenGL conserve l'état courant :
 - Matériau, taille des lignes, polygones remplis
 - Transformation courante
 - Plus pile de transformations

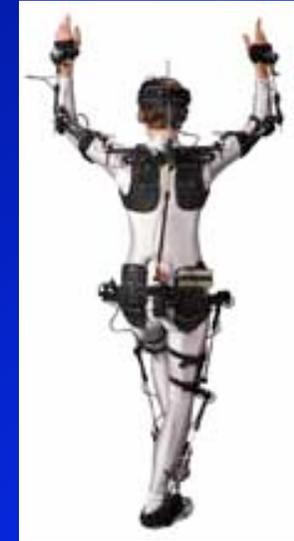
Modèle paramétrique

- Animation faite sur les paramètres
- Animation :
 - Key-frame interpolation
 - *Motion capture*
 - Entrée par l'utilisateur
 - Cinématique
 - Cinématique inverse
 - Dynamique
- Choix en fonction des contraintes
 - Scenario, réalisme...
 - Mélange de méthodes

Animation : key-frame interpolation

- Animateur fournit données entrée
 - Position, vitesse... à temps t_i
- Interpolation entre points de contrôle
- Courbes de Bézier 2D
- Re-paramétrisation

Animation : *Motion Capture*



Animation : donné par l'utilisateur

- Action directe de l'utilisateur sur les paramètres
- Fourni par la souris
 - (x_0, y_0) et (x_t, y_t)
- Relation entre action de la main et du modèle
 - Perception logique
- Difficile d'agir sur modèle complexe
 - Quel partie de l'objet ?

Animation : cinématique

- Vitesse donnée en entrée
 - Programme calcule la position
- Utile pour des objets simples, trajectoires simples
- Contrôle complet de l'objet
 - Pratique pour suivre le *scenario*
- ...mais *besoin* d'un contrôle complet de l'objet
 - Difficile pour l'animateur

Animation : cinématique inverse

- Objets complexes
 - Bras articulé
- Animation d'une partie de l'objet
- Calcul des positions du reste de l'objet
- Simple pour animateur/joueur
- Problème complexe
 - Non-linéaire, pas d'unicité, pas de continuité...

Animation : dynamique

- Lois de la dynamique, appliquées au modèle
- Trajectoires réalistes
 - Si modèle réaliste
- Complexité pour imposer résultat
- Utile pour particules, objets secondaires...

Contenu du cours

- Modélisation, animation, rendu
- Coordonnées homogènes
 - Transformations 3D
 - Perspective
- Modèle paramétrique
- Techniques d'animation