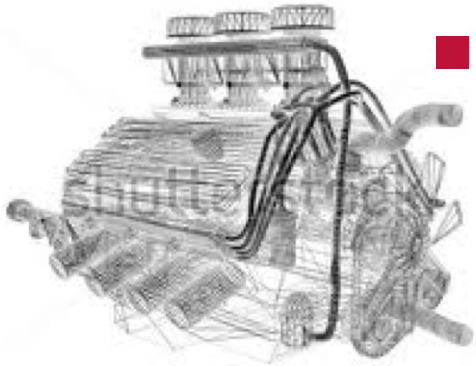
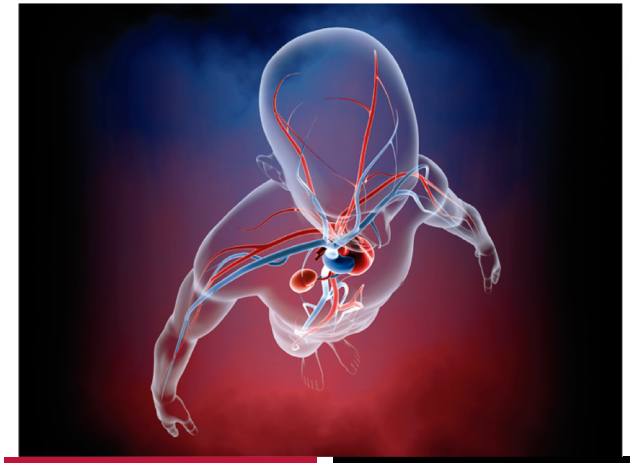
Synthèse Graphique

PACT – Mini-Cours

Pour qui ?



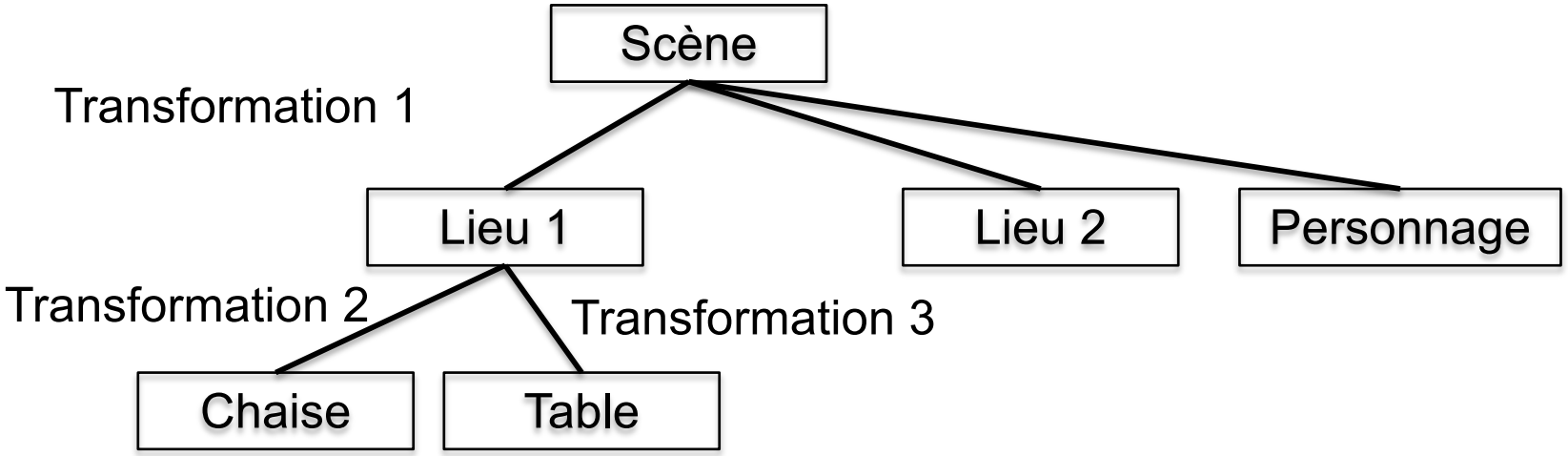
- **Divertissement**
  - Jeux: FPS, arcades, plateaux
  - Simulation (arts plastiques, musique, ..)
- **Industriel**
  - CAO
  - Tests et simulations
  - Impression 3D
- **Tertiaire**
  - Médical
  - Aérospatial
  - Architecture
  - …



Modéliser un environnement 3D

- **Objet: description mathématique 2D/3D**
  - Forme
    - Personnages
    - Décors
    - Terrain
  - Aspect
    - Textures *(=images)*, couleurs, modèle de lumière
- **Scène: ensemble des objets**
- **Caméra: point de vue dans la scène**
  - Unique pour tous les objets
- ***Modèle pour simulation physique***
  - *Détection de collision*
  - *Poids, élasticité des matériaux, …*

Arbre de scène et Liste d'affichage



Liste Graphique, dans l'ordre d'affichage:

- Transformation 1 + Transformation 2 + Chaise
- Transformation 1 + Transformation 3 + Table
- Transformation 1 + Transformation X + Personnage

Dans la pratique, on utilise souvent un mélange des deux:

Arbre de scène pour décrire l'ensemble

Liste Graphique pour les objets à afficher à T

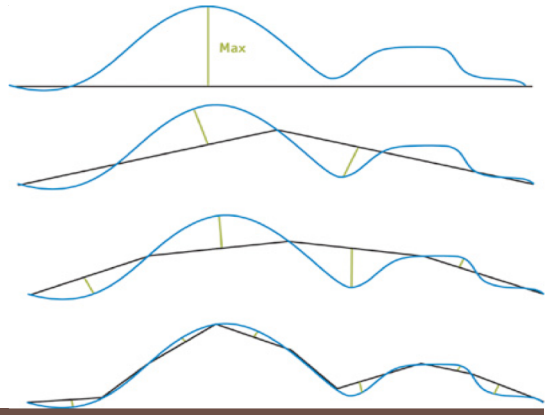
Les objets

- **Primitive: description mathématique 2D/3D**
  - Point: « Vertex »
  - Primitives simples
    - Point, Ligne, Triangles, Carrés
  - Primitives complexes:
    - courbes/surfaces de Bézier, d'ordre 2 ou 3

$$\mathbf{B}(t) = (1-t)^2\mathbf{P_0} + 2t(1-t)\mathbf{P_1} + t^2\mathbf{P_2} \ , \ t \in [0,1].$$

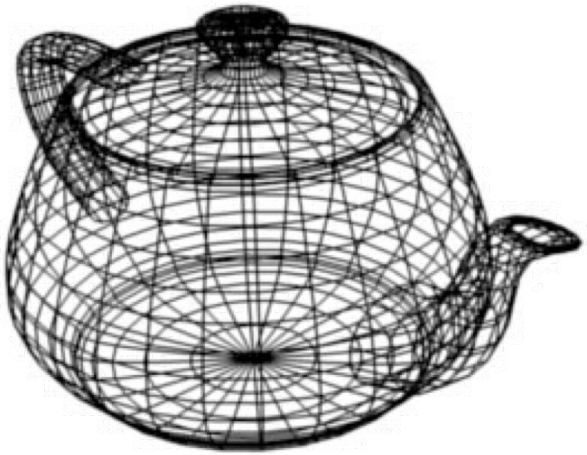
$$\mathbf{B}(t) = \mathbf{P_0}(1-t)^3 + 3\mathbf{P_1}t(1-t)^2 + 3\mathbf{P_2}t^2(1-t) + \mathbf{P_3}t^3 \ , \ t \in [0,1].$$

    - Puis *tesselation*
      - Approximation linéaire par primitive simples
      - Pour une « finesse » donnée
      - Accélération matérielle très récente …

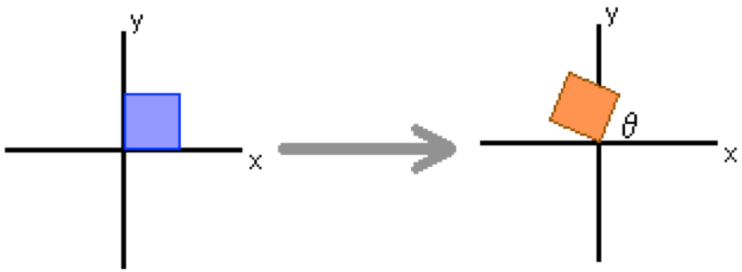


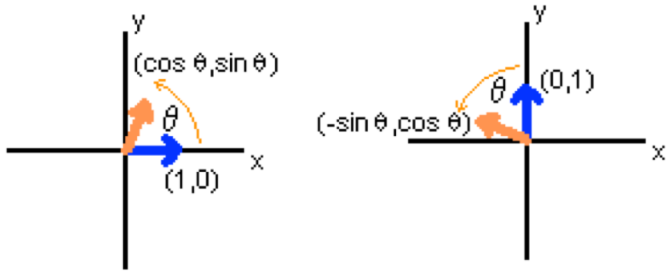
Les objets

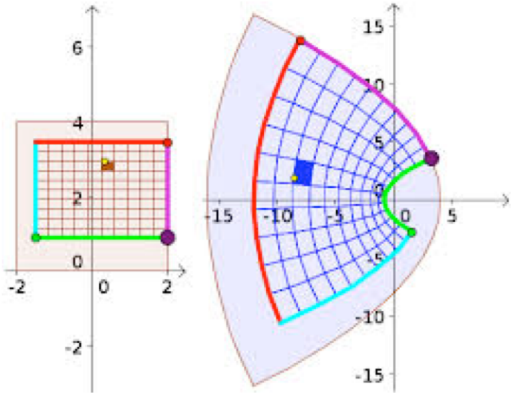
- **Objet**
  - Assemblage de ces primitives
    - Notion de « groupe »
    - Non déformable: même aspect à chaque trame
      - Ex: Chaise, table
    - Déformable
      - Animation de personnage
      - CAO Industrielle
  - Via des transformation affines



Les Transformations





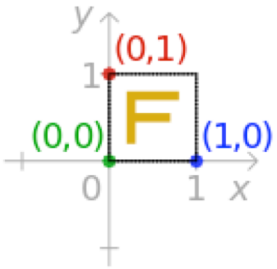


- **Déplacer les objets**
  - Rotation, translation, mise à l'échelle
    - Calculs simples sur l'ensemble des points
  - Transformations affines
    - 2D: x'= ax + by + c, y' = dx + ey + f
    - 3D: …
  - Transformations non linéaires
    - Modification point par point
- **Cumuler les transformations**
  - (x', y) = R(alpha)(x, y) + T(a, b)(x, y) + S(2, 1)(x,y) + …
  - Représentation Matricielle:
    - Tr = S * T * Ra
    - (x', y') = Tr * (x, y)

$$\begin{pmatrix} a & c & e \\ b & d & f \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

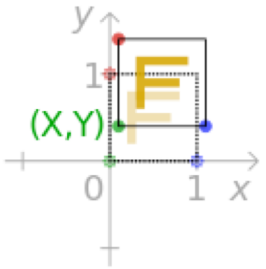
No change

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



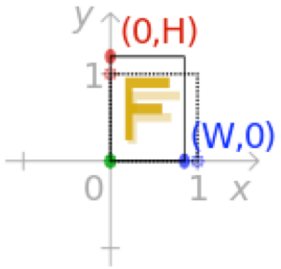
Translate

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



Scale about origin

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

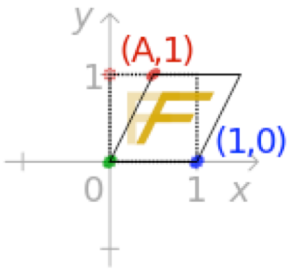


Rotate about origin

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

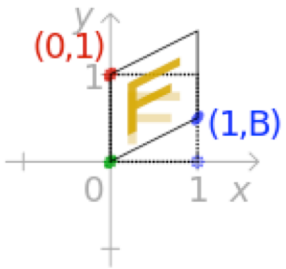
Shear in x direction

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



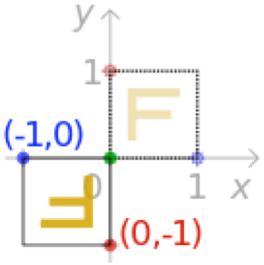
Shear in y direction

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



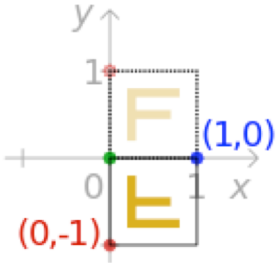
Reflect about origin

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



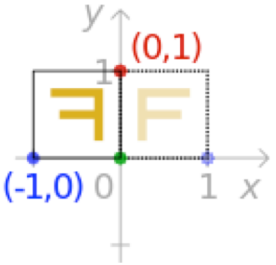
Reflect about x-axis

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



Reflect about y-axis

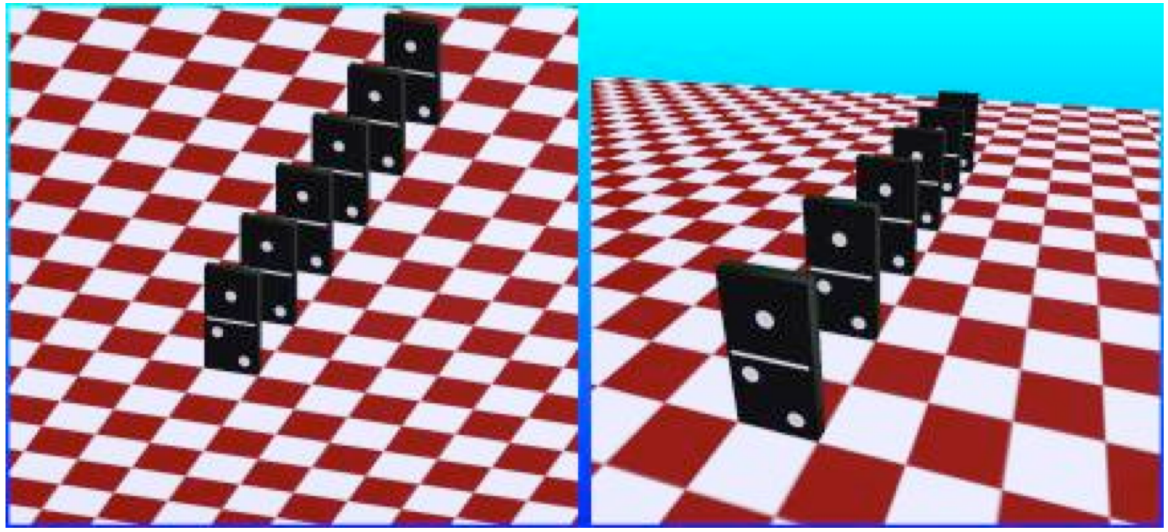
$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Système de projection

- **L'affichage est**
  - En 2D
  - En pixels:
    - x,y dans N^2
    - Origine haut/gauche ou bas/gauche
- **Comment passer de la description mathématique à une coordonnée en pixel ?**
  - Projection R^2 ou R^3 -> R^2
    - Bien évidemment sous forme matricielle
    - Avec normalisation sur [-1.0, 1.0] de l'espace visible
  - Dessin $[-1.0, 1.0]^2$ vers [{0,0}, {Largeur,Hauteur}]

Orthogonal vs Perspective

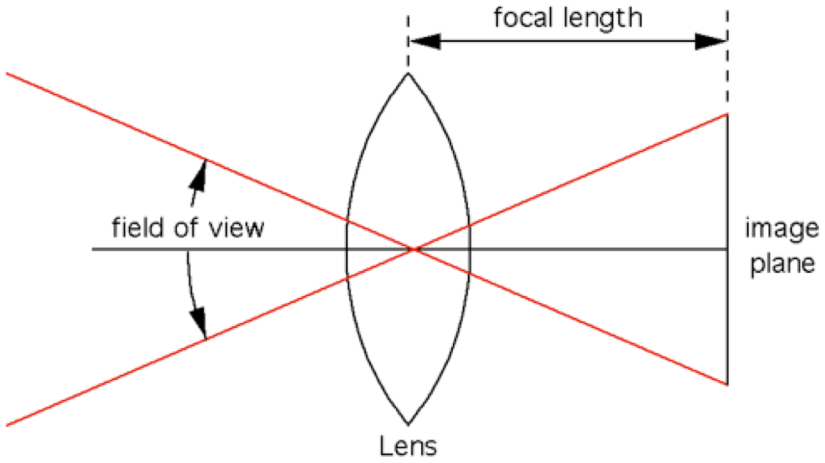


- **Projection Orthogonale**
  - Angles droits respectés
  - 2D, CAO 3D

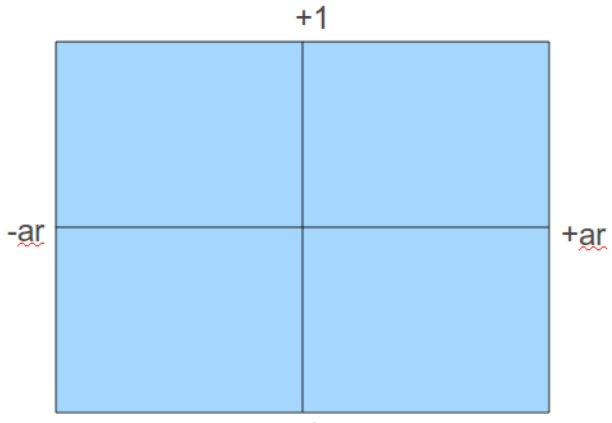
- **Projection Perspective**
  - Point de fuite au centre de l'image
  - Objets lointains plus petits
  - Monde virtuels, jeux, …

Paramètres de perspective

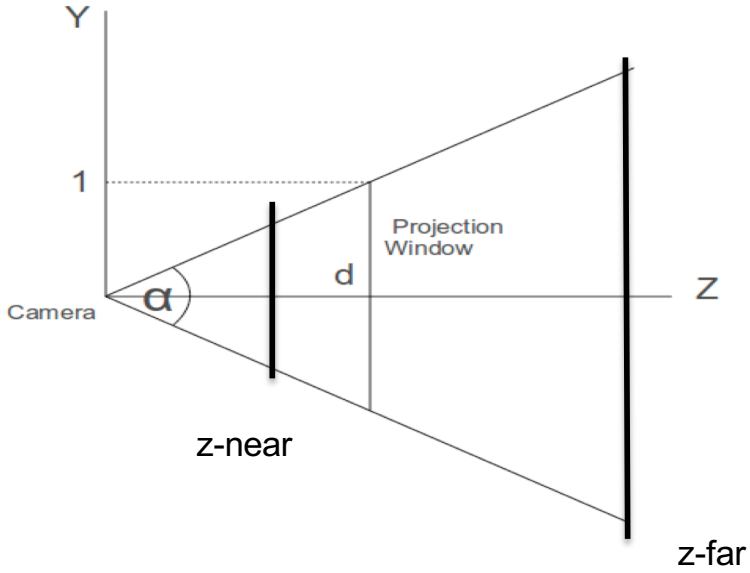
- **Z-far**
  - « far clipping plane »: les objets derrière ce plan ne sont pas dessinés
- **Z-near**
  - « near clipping plane »: les objets devant ce plan ne sont pas dessinés
- **Aspect Ratio**
  - Rapport largeur/hauteur
- **Notion d'ouverture**
  - En optique, notion de focale
  - En 3D, « field of view »



La matrice de perspective



Fenêtre virtuelle de projection



Coordonnées normalisées sur [-1,1]

$$x_p = \frac{x}{ar \cdot z \cdot \tan(\frac{\alpha}{2})}$$

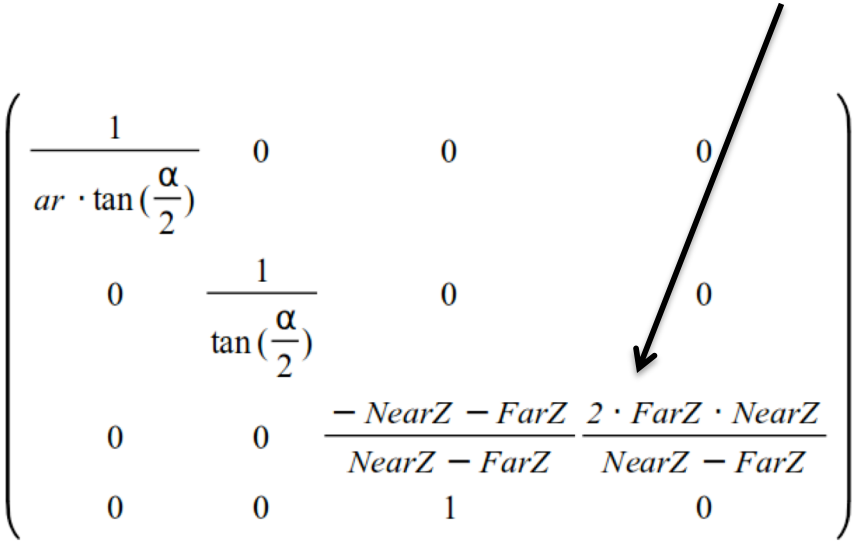
Division par z pas pratique:

- z varie à chaque vertex
- ce n'est pas un produit matriciel !

$$y_p = \frac{y}{z \cdot \tan(\frac{\alpha}{2})}$$

La matrice de perspective

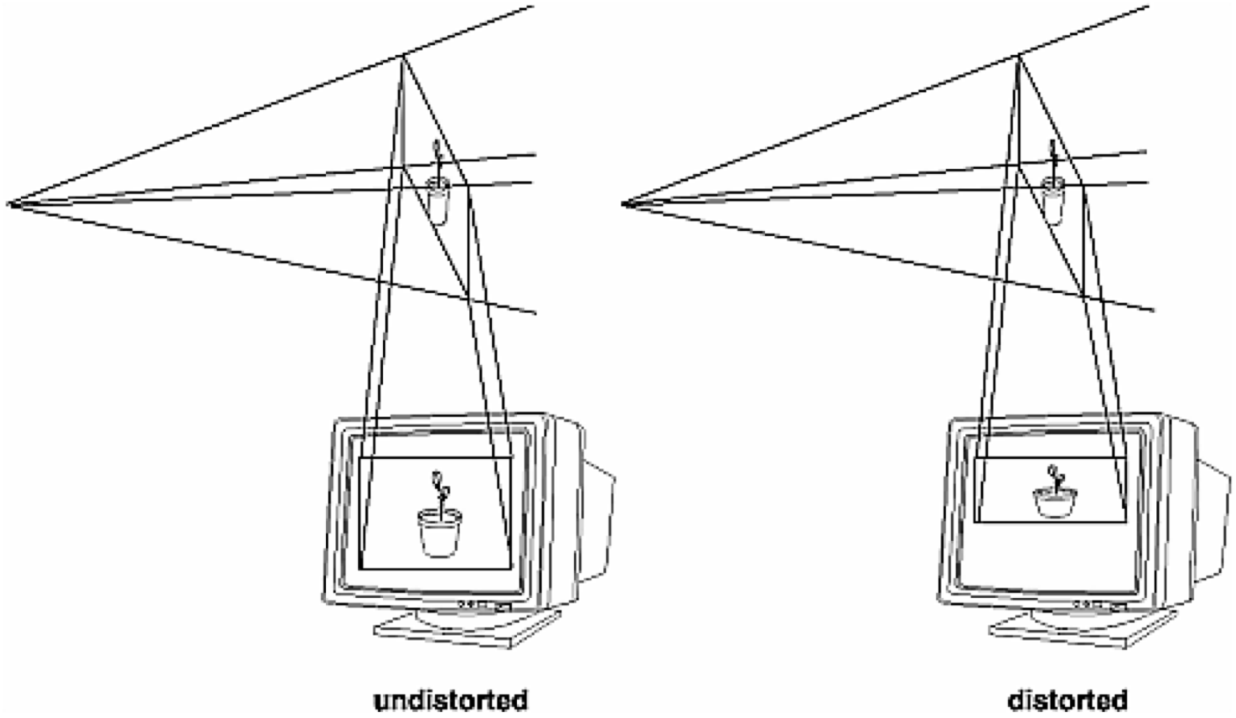
- **Division par Z gérée par le matériel**
  - « perspective division »
  - Pour un « z » normalisé entre « z-near » et « z-far »



- **Dans la pratique**
  - gluPerspective: Utilisation de FoV, z-near, z-far
  - glFrustum: Utilisation de haut/bas/gauche/droite (fenêtre de projection), z-near et z-far

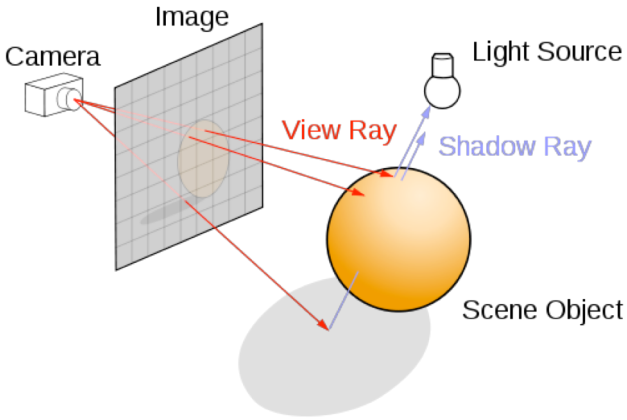
Notion de viewport

- **Passer de $[-1.0,1.0]^2$ à l'écran:**
  - Viewport = rectangle {x,y,W,H} d'affichage
    - en coordonnées pixels



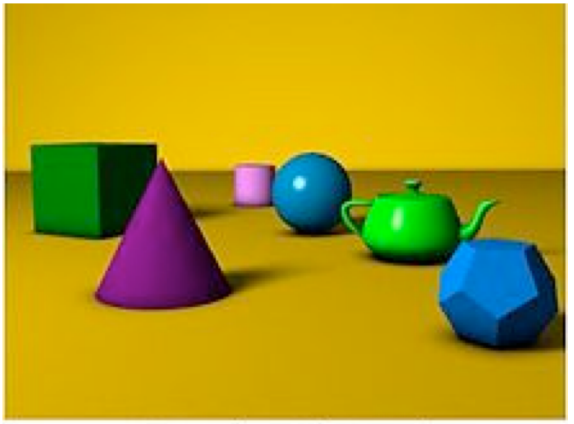
Rendu des objets

- **Photo-Réalisme**
  - Propagation de la lumière dans la scène virtuelle
- **Techniques**
  - Ray Tracing
    - Pour chaque pixel de l'écran, trouver toutes les contribution au rayon de lumière arrivant à la camera
  - Ray Casting
    - Uniquement les contributions primaires
- **Inconvénients**
  - Très coûteux
  - Pas adapté au temps réel
  - Nécessite de connaître toute la scène au moment des calculs
    - Bande passante, stockage, etc …



Rendu des objets

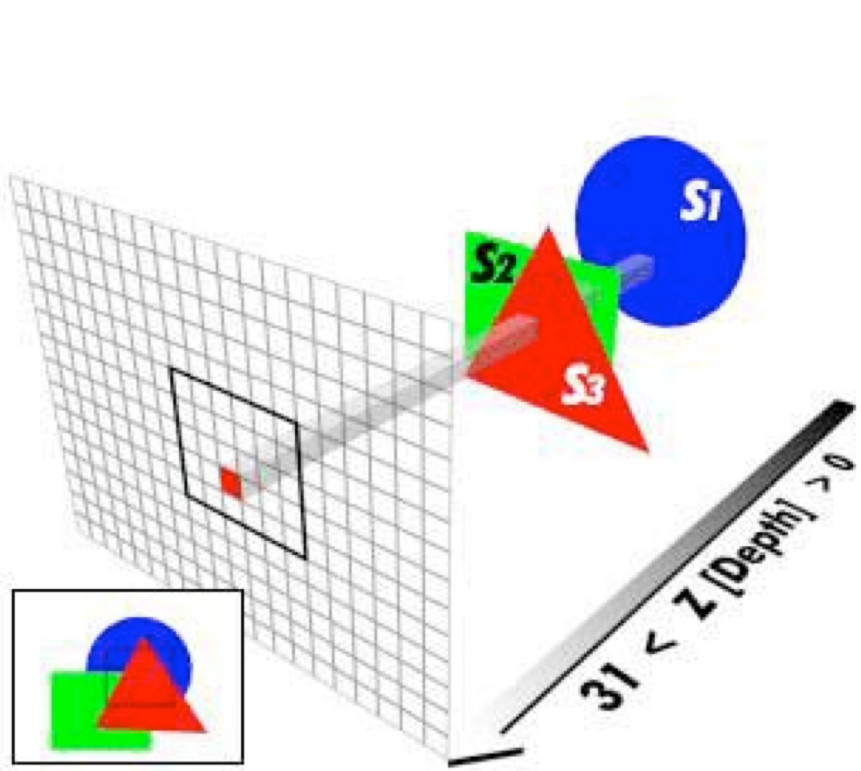
- **Via Carte Graphique (GPU):**
  - Dessin objet par objet
  - Primitives après projection: Point, lignes, triangles ou quadrilatères
  - Pour chaque point V dans la primitive correspondant à un pixel P,
    - Calcul de la couleur
    - Calcul de la profondeur Z
  - Si $V_z > Z_p$, pas de dessin
    - Autre objet plus proche
  - Si $V_z <= Z_p$, dessin
- **Z est le z-buffer ou tampon de profondeur**
  - Stocke les valeurs de Z des pixels à l'écran
    - Non linéaire f(near, far, 1/z)
  - Précision finie: 8,16, 24 bits
  - Importance du choix de z-near et z-far

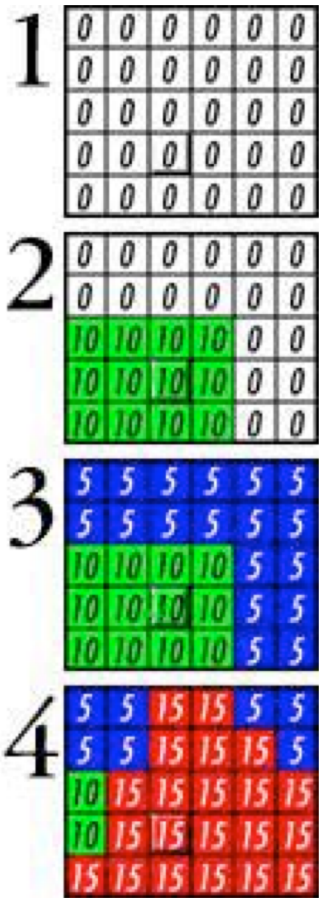


Une scène 3d simple

Le Tampon de profondeur

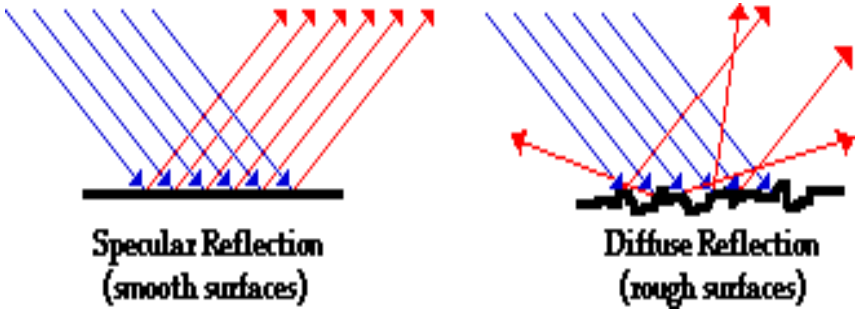
Principe du Z-buffer

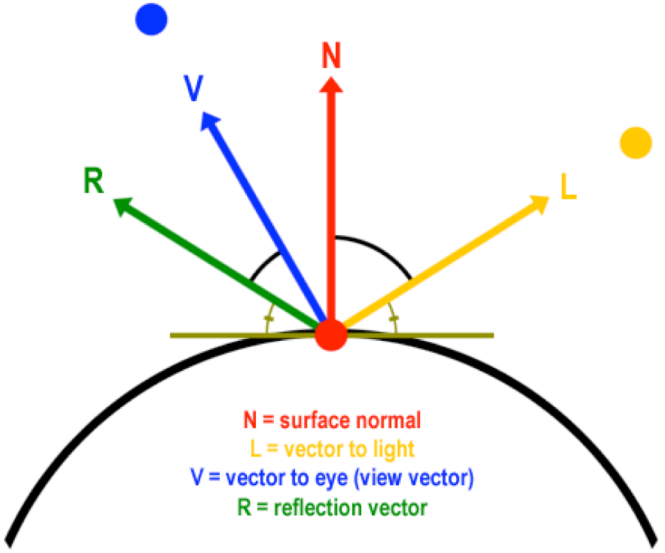




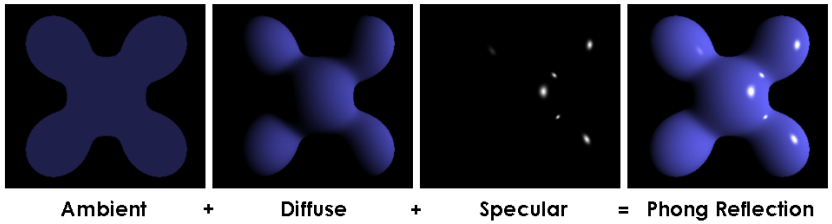
Modèles de lumières

- **Mélange entre « lumière diffuse » et « lumière spéculaire »**





- **Modèle de Phong**

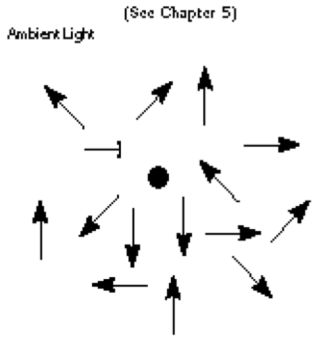


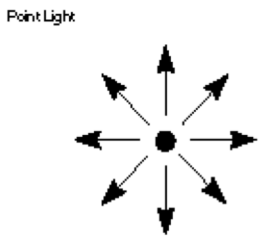
$$I_\mathrm{p} = k_\mathrm{a} i_\mathrm{a} + \sum_{m \in \text{ lights}} (k_\mathrm{d}(\hat{L}_m \cdot \hat{N}) i_{m,\mathrm{d}} + k_\mathrm{s}(\hat{R}_m \cdot \hat{V})^\alpha i_{m,\mathrm{s}})$$

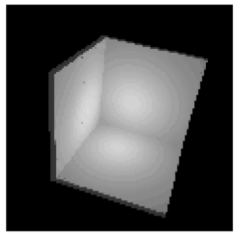
- IMPORTANCE DES NORMALES

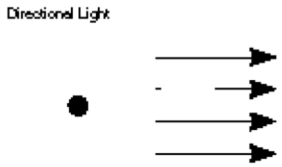
Modélisation des Lumières

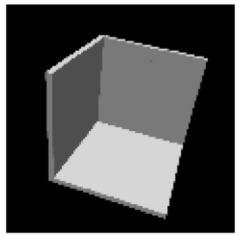
- Ambiante: illumine toute la scène, sans « source » associée
- Point: illumine la scène localement dans toute les direction
- Directionnelle: illumine toute la scène dans une direction donnée
- Spot: illumine la scène localement selon un cône de lumière

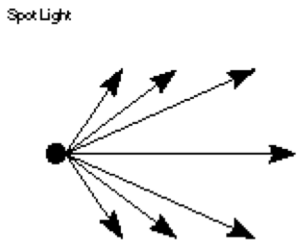


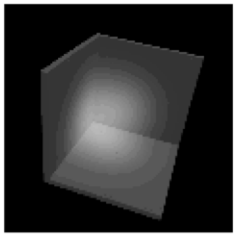






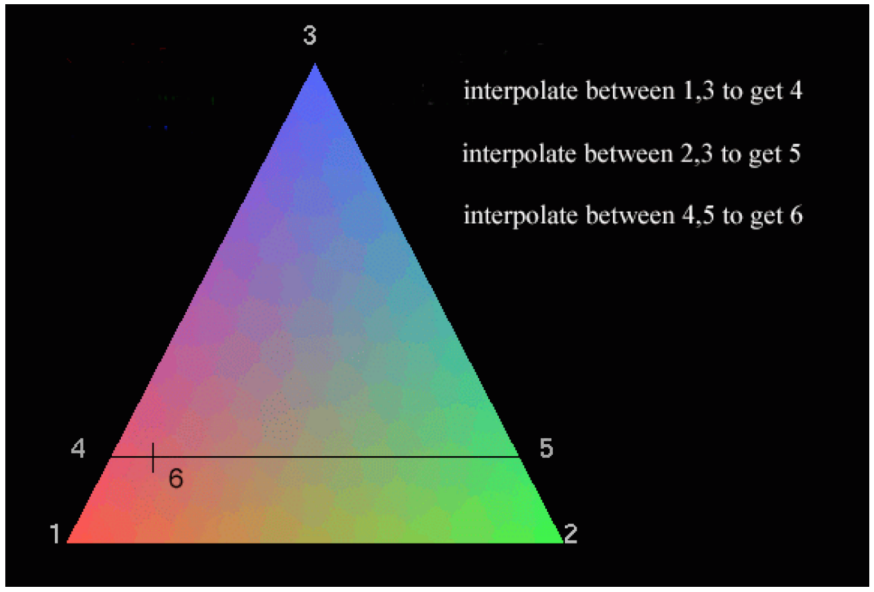






Couleur des objets

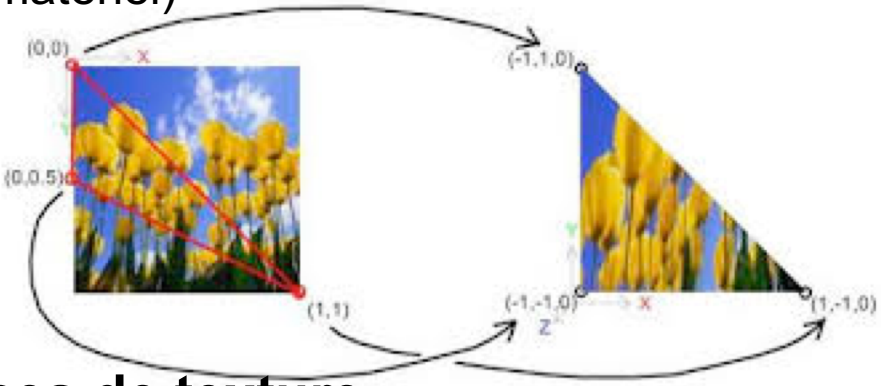
- Définition d'une couleur pour chaque sommet de la primitive
- Pour les points de la face, interpolation bilinéaire



- Pas très réaliste pour beaucoup de matériaux

Image et Objets

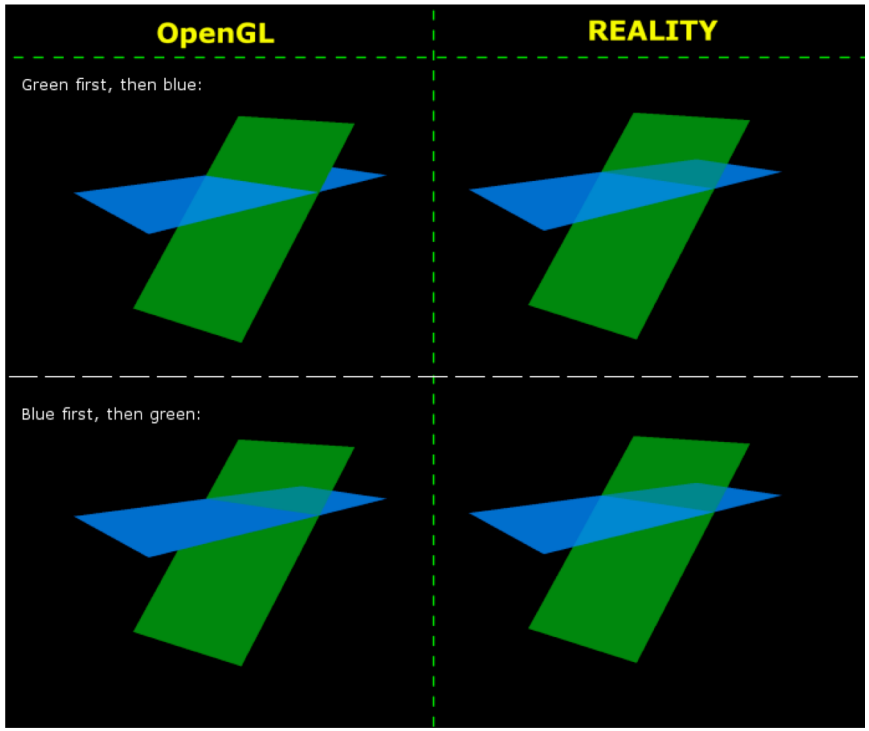
- **Associer une image à un objet**
  - Création d'une « texture », contenant une image RGB, RGB+Alpha, …
- **Associer une zone de l'image à une primitive**
  - Définition d'un espace de coordonnées pour les textures
    - U,V dans $[0.0,1.0]^2$
  - Définition de coordonnées de textures pour chaque point de la primitive
  - Interpolation pour les autres points de la face
    - Prise en compte de la perspective (via matériel)



- **Déformations possibles via des matrices de texture**

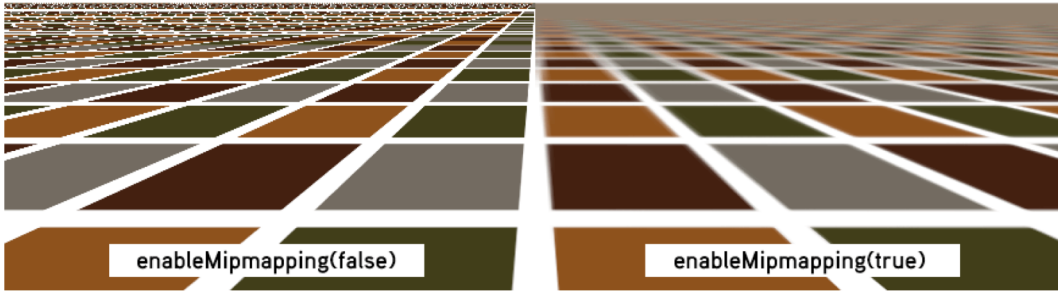
Objets et transparence

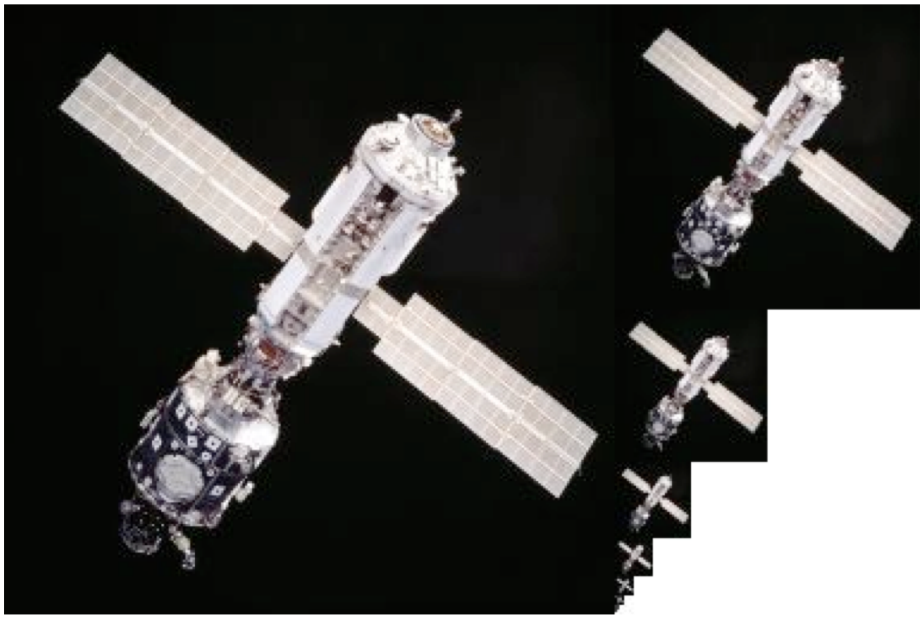
- **Problématique**
  - La carte graphique dessine les objets
    - Les uns après les autres
    - dans l'ordre demandé par l'utilisateur
    - Sans garder la couleur de chaque objet
- **Solutions**
  - Trier les objets
  - Si intersections:
    - Re-couper les objets
      - Lourd
      - Tri pas toujours possible
    - Dessiner en plusieurs passes
      - Pas simple …



Textures et niveau de détail

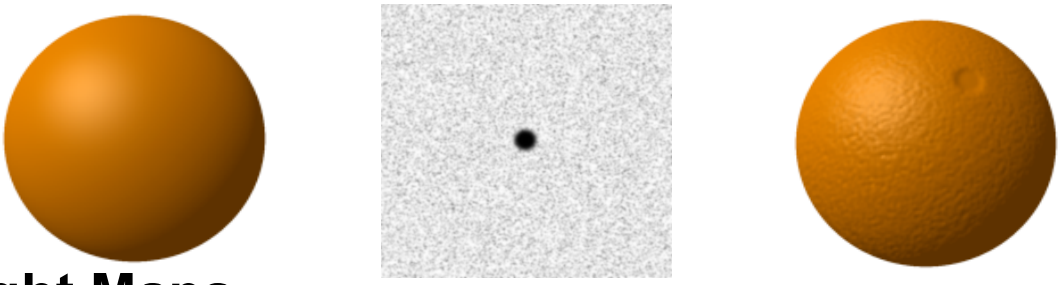
- **Taille= 2^n x 2^k**
- **Ex: Texture 512x512**
  - Si la face fait 3x3 , 50x50 pixel après projection ?
  - Pixelisation/crénelage
- **Mip-Mapping**
  - Versions de la texture à différentes résolutions
  - Améliore le rendu des objets lointains





Textures avancées

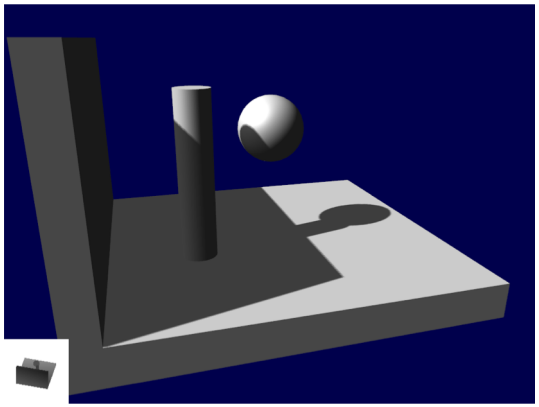
- **Possibilité d'avoir plusieurs textures / objet**
  - Plusieurs coordonnées de textures par vertex
- **Bump Mapping & Displacement Mapping**
  - Altération des normales
  - Altération des vertex



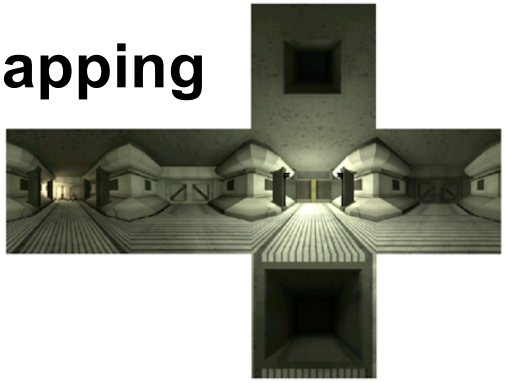
- **Light Maps**
  - Lumière pré-calculée et stockée en texture

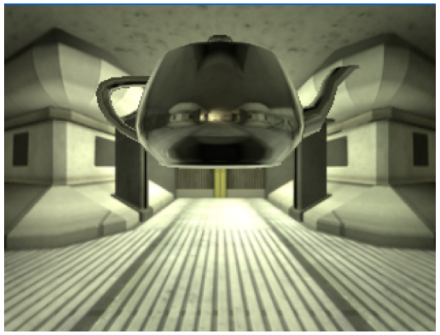
Synthèse 3D: Réalisme Avancé

- **Ombres**
  - Shadow Mapping
    - Scène vue depuis la lumière
      - « distance » pixel<->source
    - Deuxième passe
      - Distance-> ombre
  - Shadow Volume
    - Très complexe mais plus précise
  - Et bien d'autre encore
    - Selon les besoins…



- **Reflexion / Environment Mapping**
  - Monde vu depuis l'objet
  - Cube map



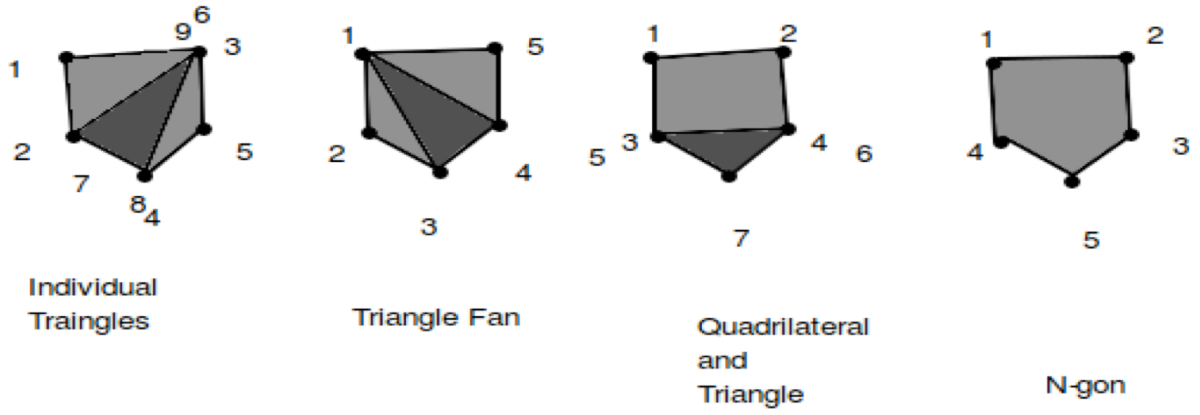


Déploiements 3D: Accélération Matérielle

- **GPU: Graphics Processing Unit**
  - Implémentation matérielle des opérations couteuses
    - Calcul vectoriel/matriciel
    - Gestion des textures
    - Interpolation des couleurs
    - Dessin des pixels, gestion de la profondeur (Z-buffer)
  - Version logicielle (via pilote de carte) pour le reste
    - Pas toujours de garantie sur ce qui est accéléré ou non
  - Traitement en parallèle des primitives
- **Qui ?**
  - Direct3D (Microsoft)
  - **OpenGL (Khronos), OpenGL-ES (Khronos)**
  - Vulkan (Khronos), Metal (Apple)

Principes de l'accélération matérielle 3D

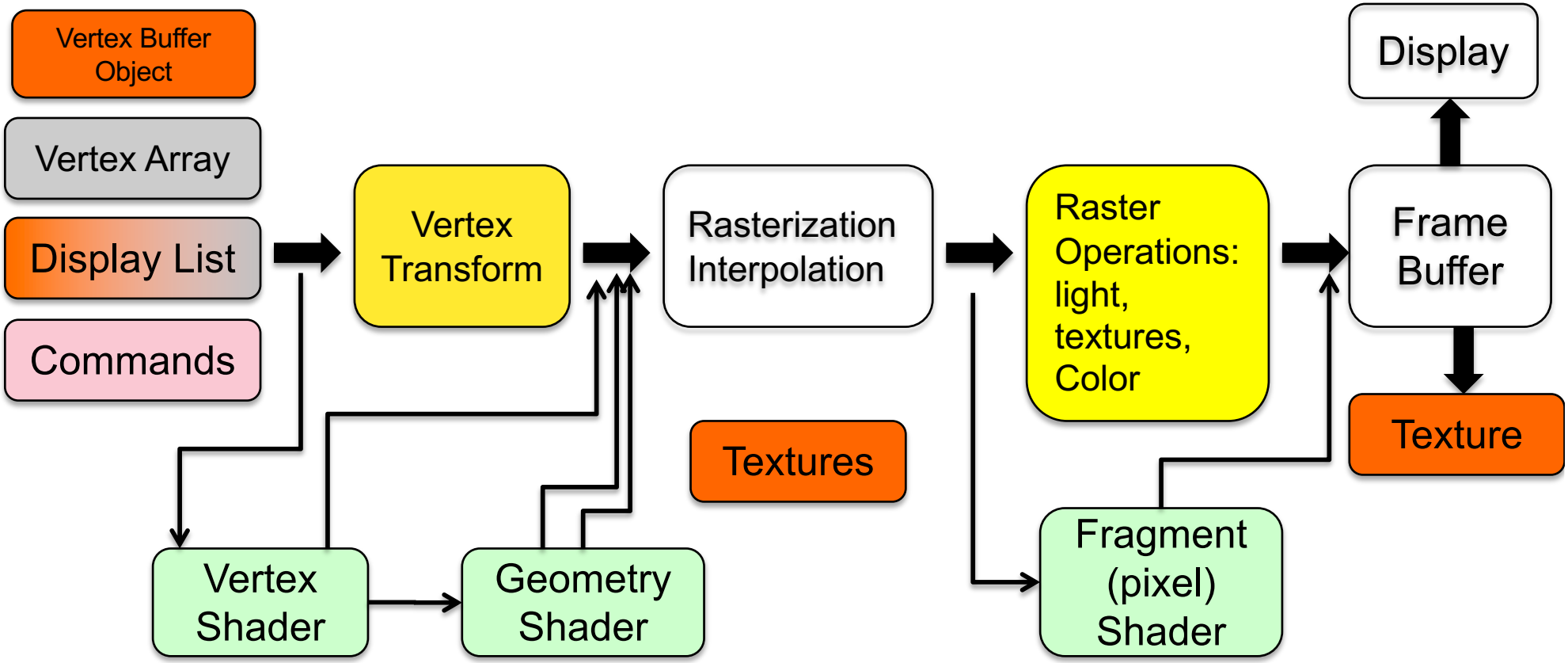
- **Suite d'instructions programmant le GPU**
  - Sortie directe sur la mémoire vidéo
    - Extensions pour le rendu hors écran
- **Primitives**
  - Simples: triangle, carré (quad), polygone convexe simple
  - Complexe: « soupe de triangle » + indexes



Principes de l'accélération matérielle 3D

- **Version « fixed pipeline » (old school)**
  - Variables d'état
    - Lumière, couleurs, paramètres de filtrages
    - Options de ciseaux
    - Transparence, brouillard, …
  - Piles de variables
    - Matrices de transformations (texture, modèles et perspectives) et états actifs
    - Push/pop
- **Version Shader**
  - Notion de programme (langage: GLSL)
  - Le programme décrit toutes les manipulations à faire:
    - Sur les vertex
    - Sur les pixels

GPU Pipeline

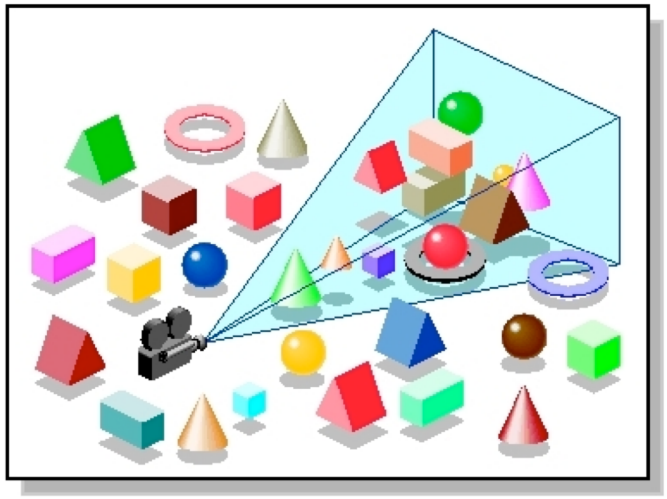


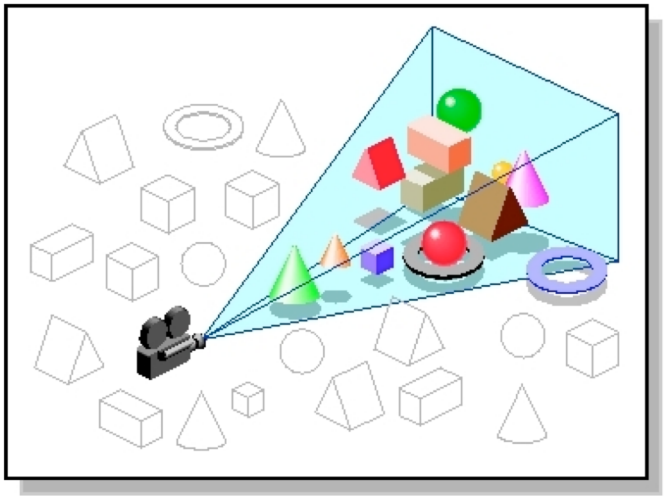
Gestion des données

- **Données lues par le programme (mémoire système)**
  - Vertex info: position, normale, coordonnées de textures, couleurs …
  - Textures
- **Mémoire GPU**
  - != mémoire système
  - Limite de taille et de bande passante CPU->GPU
- **Transmettre uniquement les objets utiles**
  - « liste graphique » pour un trame donnée
  - Libérer les ressources matérielles si non utilisées
    - Ex: changement de niveau, changement d'accessoire d'un personnage, etc …

Gestion des données

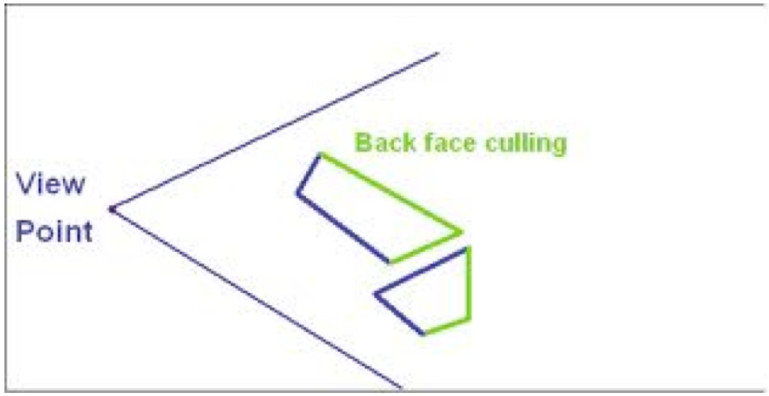
- **Elimination d'objets**
  - « Culling »
  - Si objet hors de la zone de dessin, pas de calcul
    - Notion de Frustum (volume de visualisation
  - Pas effectué par le matériel

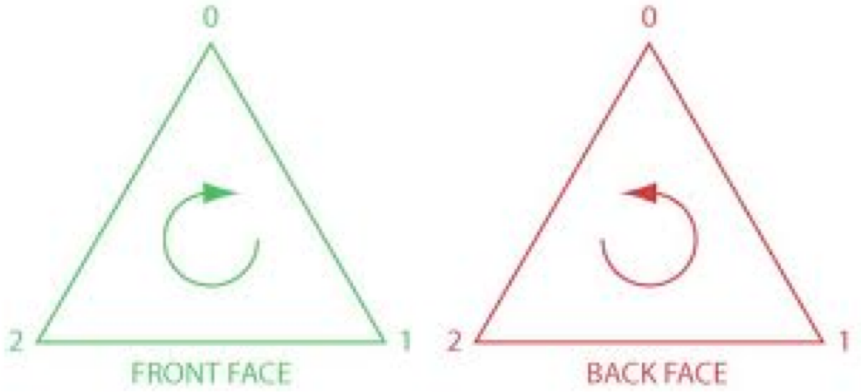


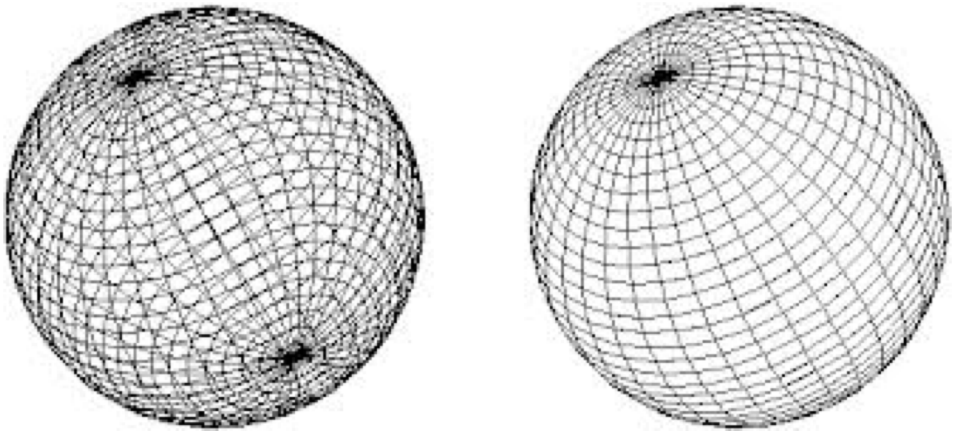


Gestion des données

- **Éliminer les faces non visibles**
  - Faces arrières des objets
    - Masquées par une autre face
    - Objets fermés et opaques
  - Peut être effectué par le matériel
    - « back-face culling »
  - Test Vue.Normal
    - !! FACES ORIENTEES

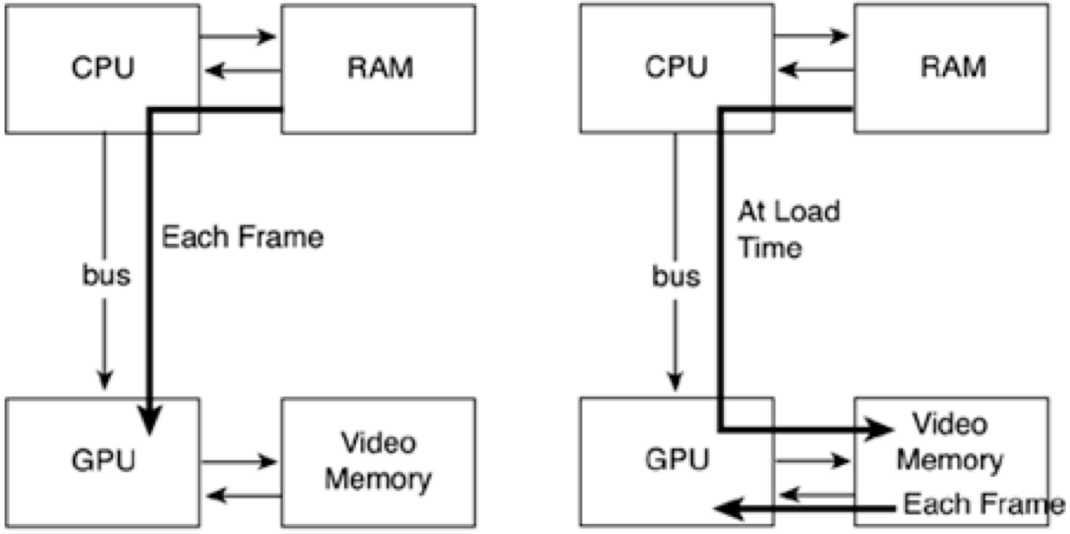






Gestion des données: animations

- **Plusieurs trames de rendu pour un même objet**
  - Envoyer N fois les mêmes objets au GPU n'est pas efficace !
- **DisplayList**
  - Enregistre une série de commandes envoyées au GPU
  - « Relecture » de cette série
    - Plus efficace si la série est stockée en mémoire GPU
  - Non paramétrable
    - Pas possible de ré invoquer en ne changeant qu'un paramètre (ex couleur du vertex K)
- **VertexBufferObject**
  - Attributs de vertex stockés sur le GPU
  - Ré-utilisation du VBO ne nécessite pas de retransmettre les données
  - Utilisé pour position, normale, coordonnées de textures, couleur



Programme simple typique

```
main()
{
//1- mise en place du programme

//2- mise en place OpenGL

while (!fin) {
        //3- interactions du programmes, mise à jour des variables (dont le temps
pour les animations), etc

        //4- identification des objets actifs pour la trame courante (liste
graphique), chargement de nouveaux objets / textures

        //5- rendu openGL – PAS DE MODIFICATIONS DES VARIABLES D'ETAT NON-OPENGL
SI PLUSIEURS PASSES NECESSAIRES (ex: stereo ou multivue)!


        //6- afficher la trame
        glSwapBuffer();
}

//nettoyage des ressources
}
```

Les Shaders

- **Vertex Shader**
  - Modifie les attributs d'un vertex
    - Position, couleurs, coordonnées de textures, etc
  - Application des matrices (transformations + projection)
    - Typiquement, les normales sont ajustées pour l'éclairage
- **Fragment Shader**
  - Modifie les attributs d'un pixel
    - Couleur/texture, transparence
  - Pixel écrit en mémoire vidéo si test profondeur OK
- **Autres**
  - Geometry Shader: permet de cloner des vertex à la volée (rendu multiple d'objet)
  - Tesselation Evaluation Shader
- **Programme**
  - 1! vertex shader + 1! fragment shader
  - En option, 1 geometry shader, 1 TES

Le Langage GLSL

- **But**
  - Interopérabilité de la programmation entre GPUs
  - Simple et proche du C
  - Permettre l'execution parallèle des instructions de rendus
    - Ex: 32 triangles en //
- **Problèmes**
  - Différentes versions du langage
    - Entre génération de cartes
    - Entre desktop (OpenGL) et Mobile (OpenGL ES)
- **Principes**
  - Lors de la compilation, définition
    - Variables locales et code
    - Données d'entrée (du précédent shader)
    - Données de sortie (pour shader suivant ou résultat final)
  - Avant de dessiner
    - Paramètres des shaders liés au programme ou « uniform »
      - Constant pour tout l'objet
        - Couleur, matrices, vecteurs, etc …
    - Attributs de l'objet (« attributes »)
      - Données changeantes par vertex

Exemples triviaux de shader (GLSL<3)

Vertex Shader

```
#version 110

void main()
{
    gl_Position = gl_ProjectionMatrix * gl_ModelViewMatrix * gl_Vertex;
}
```

Fragment Shader

```
#version 110

void main()
{
     gl_FragColor = vec4(1.0, 0.0, 0.0, 1.0);
}
```

Exemples triviaux de shader (GLSL>3)

Vertex Shader

```
#version 330

in vec4 vert;

uniform mat4 projection;
uniform mat4 view;
uniform mat4 model;

void main()
{
    gl_Position = projection * view * model * vert;
}
```

via glBindAttributeLocation

via glSetUniformZZZ

Fragment Shader

```
#version 330

out vec4 fragColor;

void main()
{
    fragColor = vec4(1.0, 0.0, 0.0, 1.0);
}
```

Framebuffer

- **Par défaut**
  - Le GPU utilise
    - Mémoire de couleur et Mémoire de profondeur (Z)
    - Option: mémoire de stencil (masques de pixels)
  - N'affiche le résultat qu'à la demande (swap buffer)
- **Pour Dessiner dans une texture**
  - Old school: copier l'écran dans la texture (glcopyteximage2d)
    - Nécessite une copie -> couteux en temps
  - OpenGL 3 / GLES 2: FrameBufferObject
    - mémoires ad-hoc: texture X pour la couleur, Y pour la profondeur
    - Pas de copie nécessaire, juste un changement de FBO

Règles de bases

- **Gestion des objets**
  - Les données sont définies dans des fichiers à part, PAS DANS LE PROGRAMME
    - Possibilité de mettre à jour un modèle sans changer le programme
  - Exemple de format: .obj, VRML, Collada, MD5 Mesh
- **Shaders**
  - Factoriser le code: **un seul compilateur de shaders !**
  - Code des shaders dans des fichiers séparés
  - Obligatoires pour Android, recommandé pour le reste
- **Gestion des ressources**
  - Prévoir de libérer les ressources de la carte graphique si un objet n'est plus utilisé pour une longue période de temps

Pour démarrer

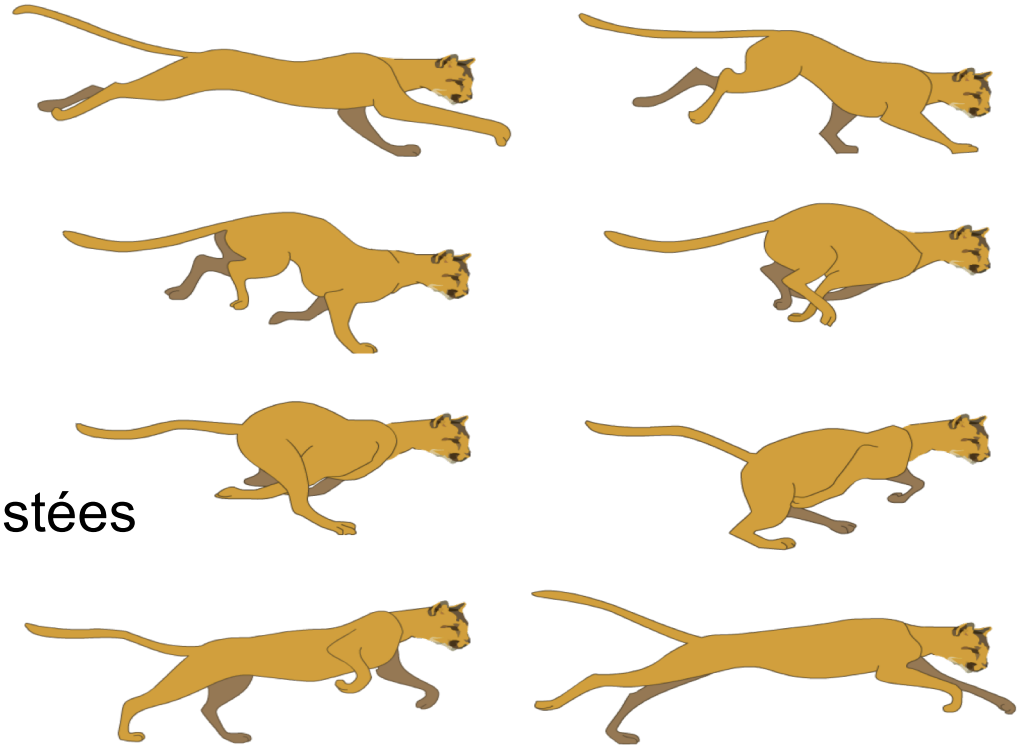
- **En java sous windows/linux: http://lwjgl.org/**
- **Sous Android: http://developer.android.com/training/graphics/opengl/index.html**
- **Référence OpenGL:**
  - http://www.glprogramming.com/red/
- **Tutos:**
  - http://www.opengl-tutorial.org/fr/beginners-tutorials/
  - https://opengl.developpez.com/tutoriels/opengl-tutorial/
- **Petite liste d'exercices:**
  - https://perso.telecom-paristech.fr/lefeuvre/PACT/OpenGL/

Au Travail !

PACT – Mini-Cours

Animation de personnages par sprite

- **Texture**
  - Toutes les positions du personnage
- **Géometrie**
  - Carré toujours en face de la caméra (« billboard »)
  - Coordonnées de texture ajustées en fonction du temps
- **Simple et rapide**
  - Moins esthétique …



Animation par déformation

- **Définir**
  - une armature
    - Liste de segments de droite (« bone »)
    - Définie pour une pose A donnée
  - une enveloppe
    - Définie dans la pose A
    - Chaque vertex est associé à un ou plusieurs « bones » avec un poid P_i / bone
      - La somme des poids = 1
- **Animer**
  - Déformation de l'armatures via matrices de A vers la position souhaitée
  - Transformation du vertex = somme des transformations/bone du vertex, pondérées par le poids