Rendu temps-réel et programmation GPU

Le pipeline graphique

Modèle géométrique : objets, surfaces, sources de lumière…

Modèle d'illumination : calcul des interactions lumineuses

Caméra : point de vue et ouverture (frustum)

Fenêtre (viewport) : grille de pixel sur laquelle on plaque l'image

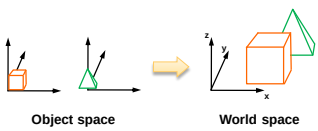
Couleurs, intensités convenant à l'afficheur (ex : 24 bits, RVB)

- Modeling Transformations
- Illumination (Shading)
- Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)
- Clipping
- Projection (to Screen Space)
- Scan Conversion (Rasterization)
- Visibility / Display

2

Transformations objet

- Passage du système de **coordonnées local** de chaque objet 3D (object space) vers un **repère global** (world space)

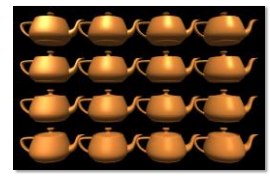


- Modeling Transformations
- Illumination (Shading)
- Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)
- Clipping
- Projection (to Screen Space)
- Scan Conversion (Rasterization)
- Visibility / Display

3

Ilumination

- Les **primitives** sont éclairées selon leur matériau, le type de surface et les sources de lumière.
- Les **modèles d'illumination** sont **locaux** (pas d'ombres) car le calcul est effectué par primitive.

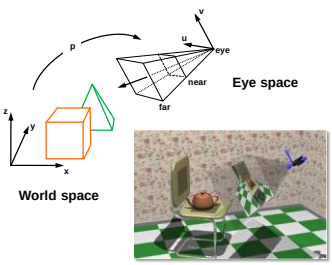


- Modeling Transformations
- Illumination (Shading)
- Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)
- Clipping
- Projection (to Screen Space)
- Scan Conversion (Rasterization)
- Visibility / Display

4

Transformation caméra

- Passe des coordonnées du monde à celles du **point de vue** (repère caméra ou eye space).

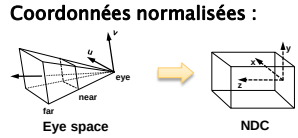


- Modeling Transformations
- Illumination (Shading)
- Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)
- Clipping
- Projection (to Screen Space)
- Scan Conversion (Rasterization)
- Visibility / Display

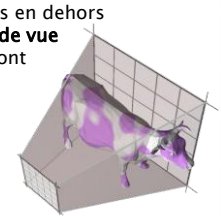
5

Clipping

- **Coordonnées normalisées :**



- Les portions en dehors du **volume de vue** (frustum) sont coupées.

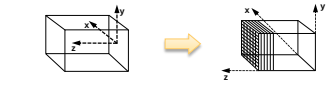


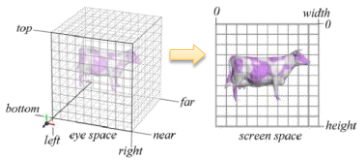
- Modeling Transformations
- Illumination (Shading)
- Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)
- Clipping
- Projection (to Screen Space)
- Scan Conversion (Rasterization)
- Visibility / Display

6

Projection

- Les primitives 3D sont **projetées** sur l'image 2D (screen space)



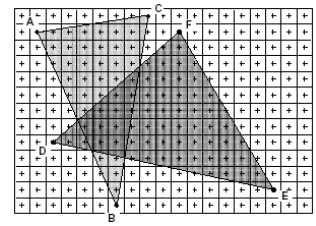


- Modeling Transformations
- Illumination (Shading)
- Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)
- Clipping
- **Projection (to Screen Space)**
- Scan Conversion (Rasterization)
- Visibility / Display

7

Rastérisation

- Découpe la primitive 2D en **pixels**
- **Interpole** les valeurs connues aux sommets : couleur, profondeur,...

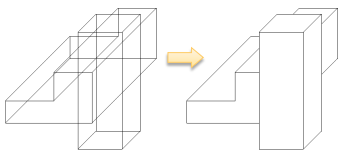


- Modeling Transformations
- Illumination (Shading)
- Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)
- Clipping
- Projection (to Screen Space)
- **Scan Conversion (Rasterization)**
- Visibility / Display

8

Visibilité, affichage

- Calcul des **primitives visibles**
- Remplissage du **frame buffer** avec le bon format de couleur

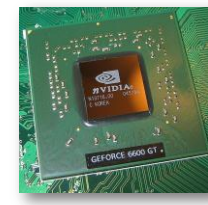


- Modeling Transformations
- Illumination (Shading)
- Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)
- Clipping
- Projection (to Screen Space)
- Scan Conversion (Rasterization)
- **Visibility / Display**

9

C'est quoi un GPU ?

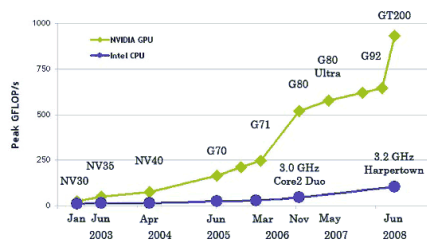
- « Graphics Processing Unit »
- Processeur spécialisé pour le rendu 3D
- Spécificités :
  - Architecture hautement parallèle
  - Accès mémoire rapide
  - Large bande passante



10

C'est quoi un GPU ?

- Un monstre de calcul parallèle :
  - GPGPU : « General-Purpose computation on GPU »



11

Le pipeline graphique

Sans carte graphique 3D
(1970s)

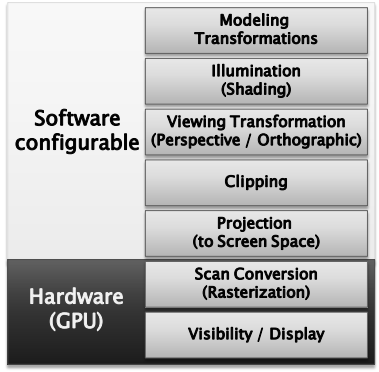
Software configurable

- Modeling Transformations
- Illumination (Shading)
- Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)
- Clipping
- Projection (to Screen Space)
- Scan Conversion (Rasterization)
- Visibility / Display

12

Le pipeline graphique

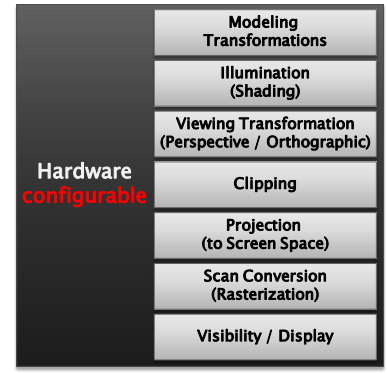
Cartes graphiques première génération (1980s)



13

Le pipeline graphique

Cartes graphiques deuxième génération (1990s)



14

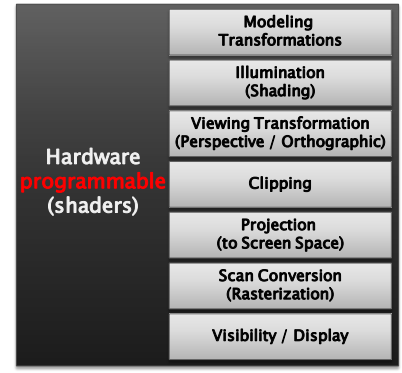
Configurable ?

- **API** (Application Programming Interface) pour l'architecture graphique
- 2 API prépondérante en graphique :
  - Direct3D (Microsoft)
  - **OpenGL** (Khronos Group)

15

Le pipeline graphique

Cartes graphiques troisième génération (2000s)



16

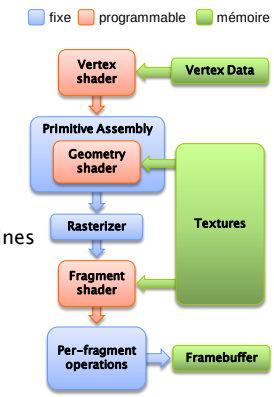
Programmable ?

- **Shaders :**
  - suite d'instructions exécutable par le GPU à différentes étapes du pipeline
  - Langage différent (pseudo-C) en fonction des API :
    - NVIDIA ⇨ Cg (2002)
    - Direct3D ⇨ HLSL (2003)
    - OpenGL ⇨ **GLSL** (2004)
- Pour le GPGPU :
  - CUDA (NVIDIA)
  - ATI Stream
  - OpenCL (Khronos Group)

17

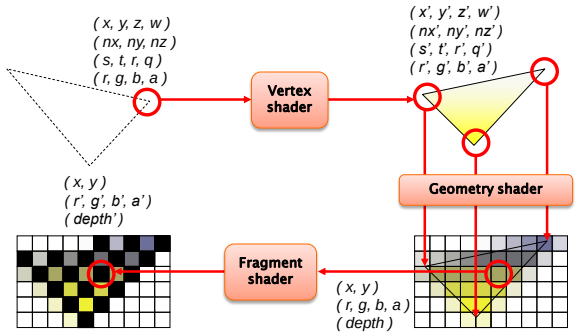
Shaders

- 3 types de shaders
  1. **Vertex** shader
  2. **Geometry** shader
  3. **Pixel** shader
- Action **locale**
  1. un sommet
  2. une primitive et ses voisines
  3. un pixel



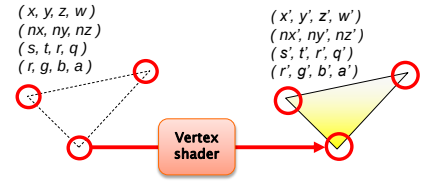
18

Shaders



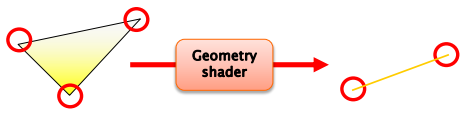
Vertex shader

- Ce qu'on peut faire
  - des transformations de position
  - des calculs d'illumination, de couleurs par sommet
  - des calculs de coordonnées de textures



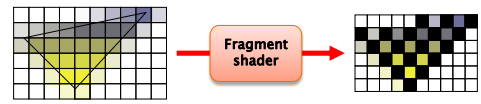
Geometry shader

- Ce qu'on peut faire
  - ajouter/supprimer des sommets
  - modifier les primitives
  - récupérer directement la géométrie sans « tramage » (avant la rasterisation)



Fragment shader

- Ce qu'on peut faire
  - la même chose qu'aux sommets, mais par pixel
  - utiliser le contenu de textures dans des calculs
  - changer la profondeur des pixels



Premier Vertex Shader

```
uniform mat4 modelViewProjectionMatrix;
in vec4 vertex;
out vec3 color;

vec4 UneFonction( vec4 Entree )
{
        return Entree.zxyw;
}

void main()
{
        vec4 pos = modelViewProjectionMatrix * vertex;
        gl_Position = pos + UneFonction( vertex );
        color = vec3(1.0,0.0,0.0);
}
```

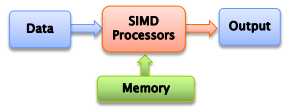
Entrées
Sortie
Fonction
Swizzle
Point d'entrée
Variable locale
Multiplication matrice-vecteur
Sortie OpenGL

Conseils

- Développez petit à petit et **testez souvent** !
  - Débuggage très difficile
- **Optimisation**
  - Réfléchissez au meilleur endroit pour placer un calcul :
    - Vertex shader : 1x par sommet
    - Fragment shader : 1x par fragment : beaucoup plus souvent !
  - Textures pour encoder les fonctions trop complexes
  - **Utilisez les fonctions fournies** plutôt que de les re-développez.

GPGPU

- *General-Purpose Computation Using Graphics Hardware*
- Un GPU = un processeur SIMD (*Single Instruction Multiple Data*)
- Une texture = un tableau d'entrée
- Une image = un tableau de sortie



25

GPGPU – Applications

- Rendu avancé
  - Illumination globale
  - Image-based rendering
  - …
- Traitement du signal
- Géométrie algorithmique
- Algorithmes génétiques
- A priori, tout ce qui peut massivement se paralléliser

26

GPGPU

- Récupérer l'image rendue = lent
  - PCI Express
- Opérateurs, fonctions, types assez limités
- Un algorithme parallélisé n'est pas forcément plus rapide que l'algorithme séquentiel

27

Références/Liens utiles

- Le red book : http://www.opengl-redbook.com/
- La spec GLSL : http://www.opengl.org/registry/doc/GLSLangSpec.Full.1.30.08.pdf
- Cg : http://developer.nvidia.com/page/cg_main.html
- Cuda : http://www.nvidia.com/cuda
- OpenCL : http://www.kronos.org/opencl/

- Librairie pour les extensions
  - GLEW : http://glew.sourceforge.net/

- Un éditeur spécial shader (malheureusement pas à jour, mais bien pour débuter)
  - http://www.typhoonlabs.com/

- Erreurs OpenGL/GLSL : un débogueur simple, efficace, super utile, vite pris en main.
  - glslDevil : http://www.vis.uni-stuttgart.de/glsldevil/

- Des tas d'exemples (à tester, éplucher, torturer) :
  - http://developer.nvidia.com/object/sdk_home.html

- La référence GPGPU avec code, forums, tutoriaux : http://www.gpgpu.org/

28