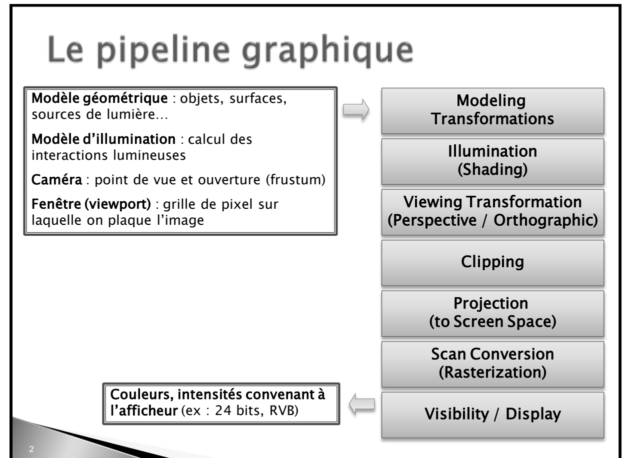
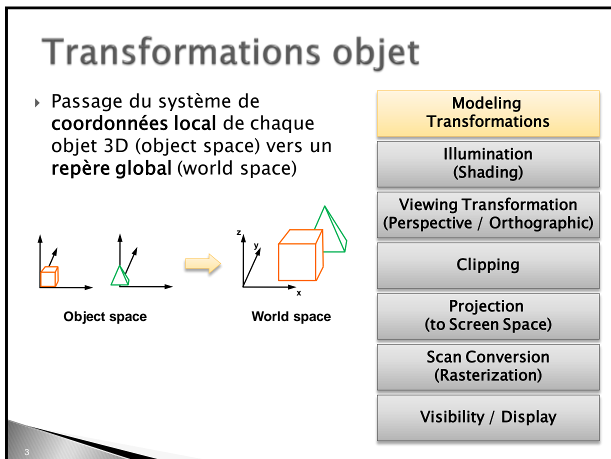
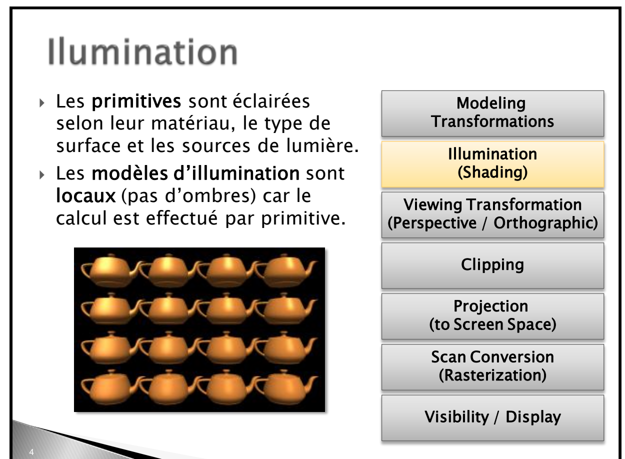
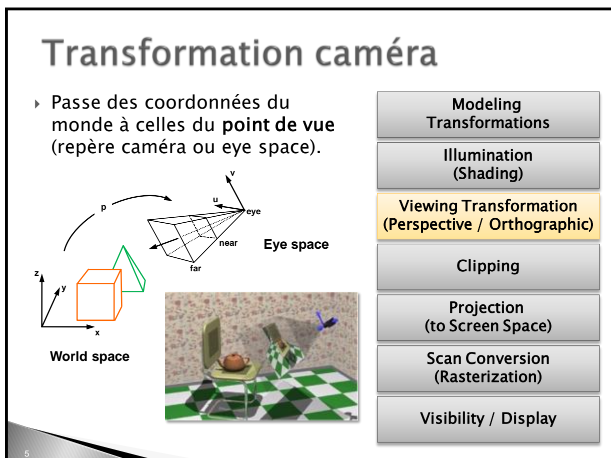
Le pipeline graphique

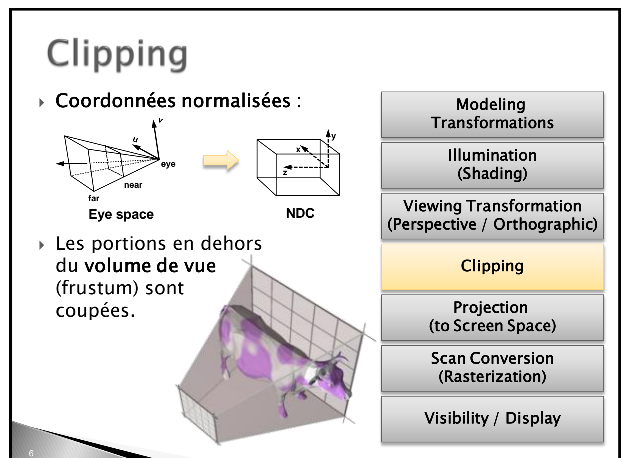
1











Projection

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

NDC → 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

Le GPU dans le pipeline

10

C'est quoi un GPU ?

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

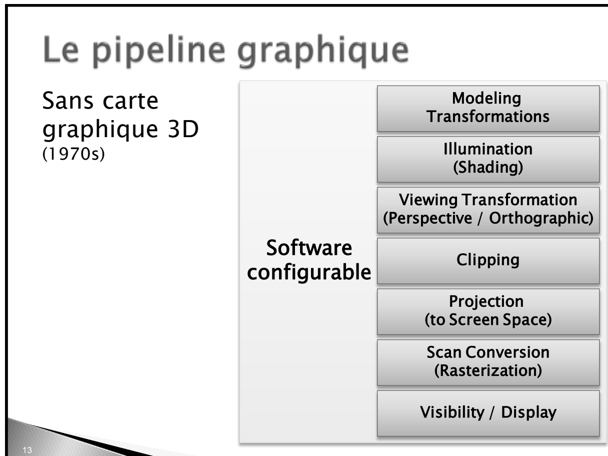
11

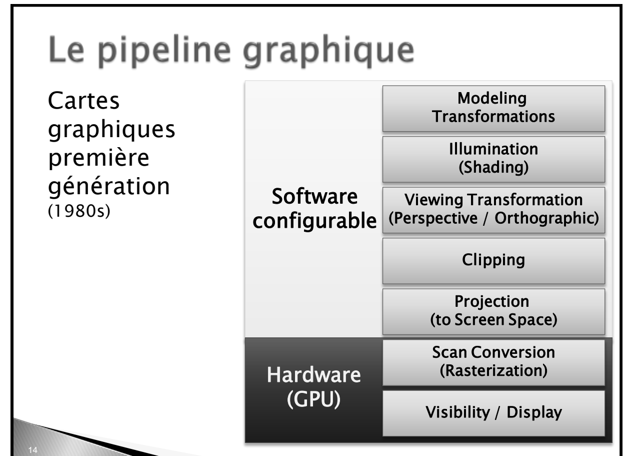
C'est quoi un GPU ?

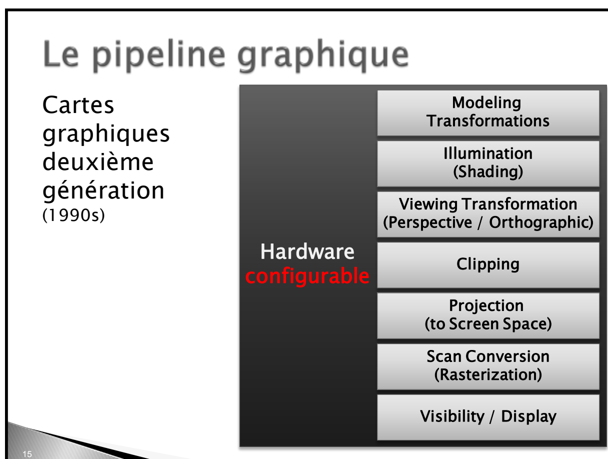
- Un monstre de calcul parallèle :
  - GPGPU : « General-Purpose computation on GPU »

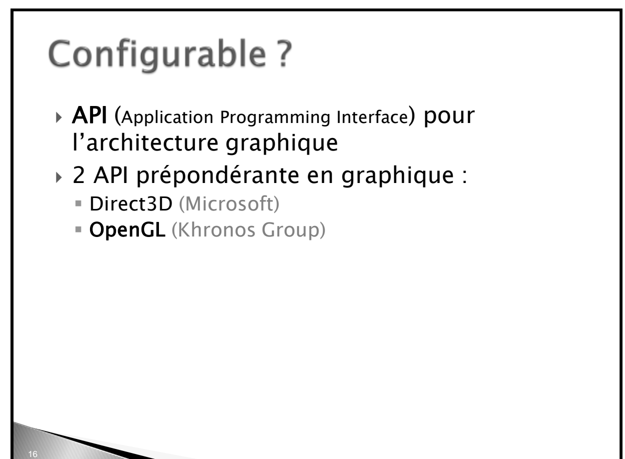
Peak GFLOP/s — NVIDIA GPU / Intel CPU: NV30, NV35, NV40, G70, G71, G80, G80 Ultra, G92, GT200; 3.0 GHz Core2 Duo, 3.2 GHz Harpertown; Jan 2003 – Jun 2008

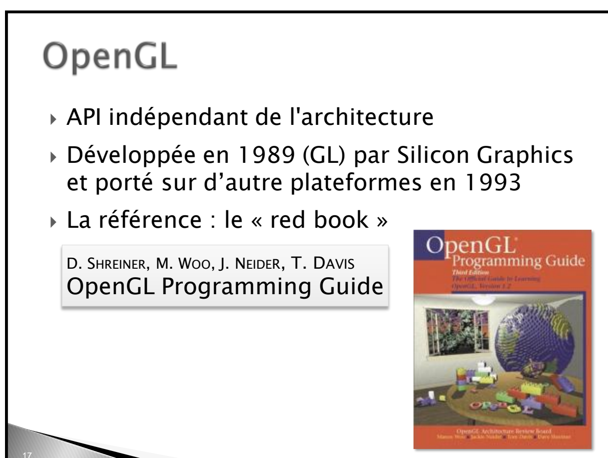
12

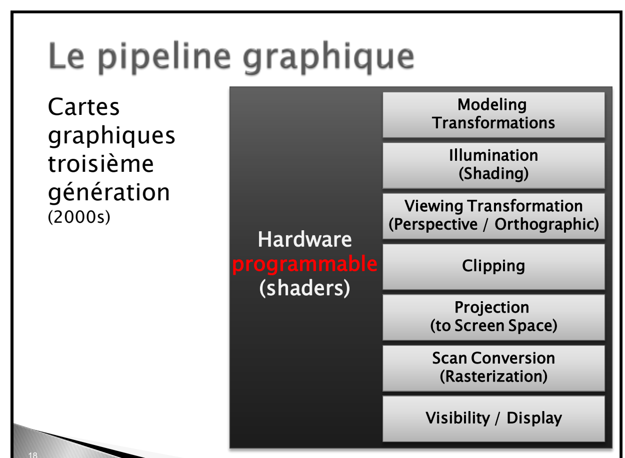

Le pipeline graphique
Sans carte graphique 3D
(1970s)
Software configurable
Modeling Transformations
Illumination (Shading)
Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)
Clipping
Projection (to Screen Space)
Scan Conversion (Rasterization)
Visibility / Display
13


Le pipeline graphique
Cartes graphiques première génération
(1980s)
Software configurable
Hardware (GPU)
Modeling Transformations
Illumination (Shading)
Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)
Clipping
Projection (to Screen Space)
Scan Conversion (Rasterization)
Visibility / Display
14


Le pipeline graphique
Cartes graphiques deuxième génération
(1990s)
Hardware configurable
Modeling Transformations
Illumination (Shading)
Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)
Clipping
Projection (to Screen Space)
Scan Conversion (Rasterization)
Visibility / Display
15


Configurable ?
API (Application Programming Interface) pour l'architecture graphique
2 API prépondérante en graphique :
Direct3D (Microsoft)
OpenGL (Khronos Group)
16


OpenGL
API indépendant de l'architecture
Développée en 1989 (GL) par Silicon Graphics et porté sur d'autre plateformes en 1993
La référence : le « red book »
D. Shreiner, M. Woo, J. Neider, T. Davis
OpenGL Programming Guide
OpenGL Programming Guide
17


Le pipeline graphique
Cartes graphiques troisième génération
(2000s)
Hardware programmable (shaders)
Modeling Transformations
Illumination (Shading)
Viewing Transformation (Perspective / Orthographic)
Clipping
Projection (to Screen Space)
Scan Conversion (Rasterization)
Visibility / Display
18

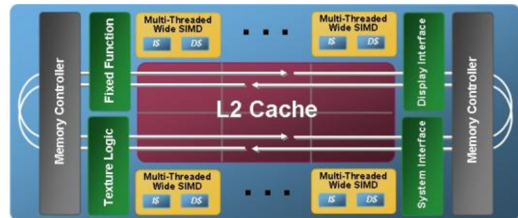
Programmable ?

- **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) ⇨ fin 2009

19

Le pipeline « graphique » ?

- Prochaine génération ?
  - Larrabee (Intel)



20

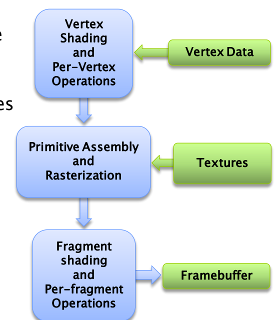
OpenGL 3 Revolution through Evolution

et les shaders GLSL

21

OpenGL

- Gère
  - Caméra virtuelle (pyramide de vision, projection)
  - Rastérisation
  - Élimination des parties cachées
  - Application de textures
  - Illumination
- Ne gère pas
  - Calculs d'ombres
  - Réflexions
  - Illumination global
  - La physique des scènes (collisions, mouvements…)



22

Primitives OpenGL

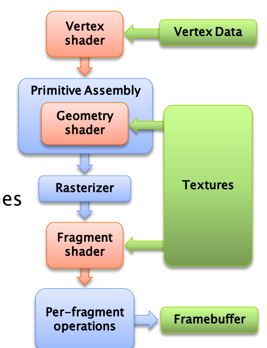
- 3 familles de primitives
  - **Sommets** (vertices) : vecteur de flottants
  - **Lignes** : segments
  - **Polygones** : polygones convexes simples
- Des attributs
  - **Position** (x,y,z,w) en coordonnées homogènes
  - **Normale** (nx, ny, nz)
  - **Couleur** (r,g,b,a)
  - **Coordonnée de texture** (s,t,r,q)
  - entre autres…

23

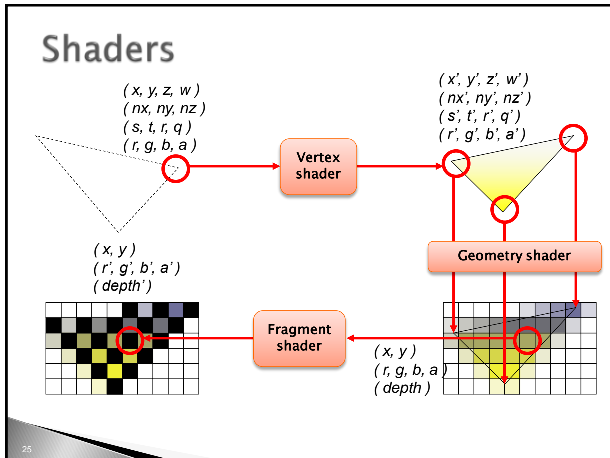
Shaders

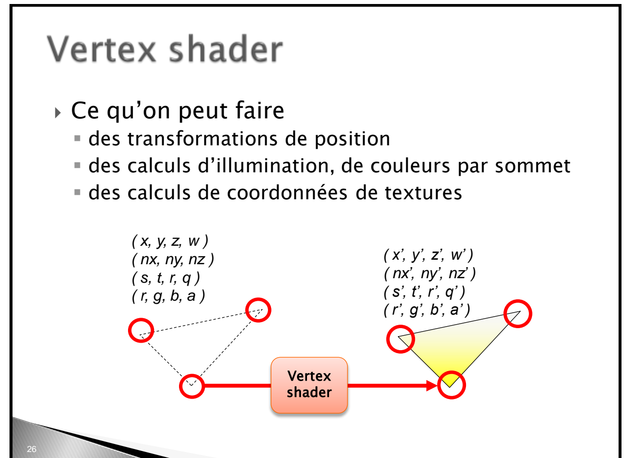
fixe programmable mémoire

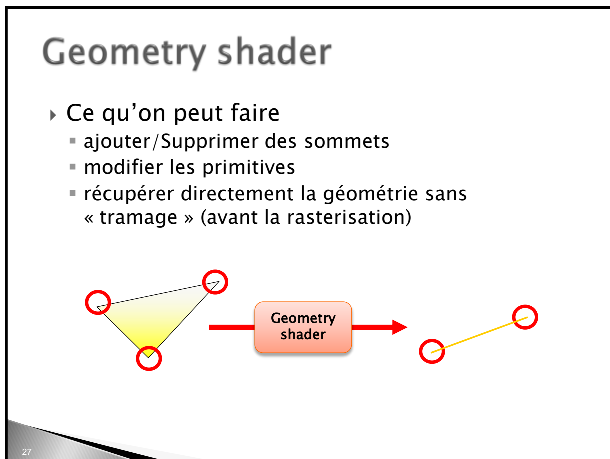
- 3 types de shaders
  1. **Vertex** shader
  2. **Geometry** shader
  3. **Pixel** shader
- Action **locale**
  1. un sommet
  2. une primitive et ses voisines
  3. un pixel

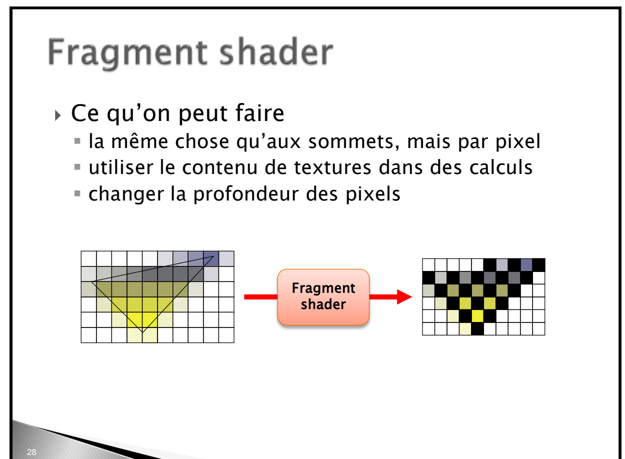


24









Premier Vertex Shader

```
uniform vec4 Bidule;

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

void main()
{
        vec4 pos = gl_ModelViewProjectionMatrix * gl_Vertex;
        gl_Position = pos + UneFonction( Bidule );
}
```

Entrée

Fonction

Swizzle

Point d'entrée

Variable locale

Entrées OpenGL

Multiplication matrice-vecteur

Sortie OpenGL

29

Types de base

- Flottants, entiers, booléens
  - `float, bool, int, unsigned int`
- Vecteurs 2,3,4
  - `[b,u,i]vec{2,3,4}`
- Matrices 2x2, 3x3, 4x4
  - `mat{2,3,4}`
- Structures
  - `struct my_struct { int index; float value};`
- Tableaux
  - `int array[5];`

30

Entrées

- *Built-in* : tous les états passés par OpenGL
  - Position `(glVertex3fv,…)`
  - Couleurs `(glColor4f,…)`
  - Directions des lumières `(glLighiv, …)`
  - Textures flottantes ou entières `(glTexCoord[1|2|3][i|f],…)`
  - Matrices `(glMatrixMode,…)`
  - Matériaux `(glMateriali,…)`
- `uniform` : passés par le programme OpenGL
  - Ne varie pas entre glBegin/glEnd (matrices, textures, lumières,…)
- `const` : constant au sein des shaders

31

Entrées / Sorties

- Communication entre les étapes du pipeline :
  - `in` : variable définie par sommet depuis OpenGL ou en entrée d'un Fragment Shader
  - `out` : variable définie comme sortie d'un Vertex ou d'un Fragment Shader
- Trois qualificateurs supplémentaires :
  - `smooth` : interpolation tenant compte de la perspective
  - `flat` : pas d'interpolation
  - `noperspective` : interpolation linéaire

32

Sorties *Built-In*

- Vertex/Geometry shader :
  - `gl_Position` : position du sommet en coordonnées homogènes (obligatoire)
  - `gl_PointSize` : taille d'un point en rendu par point
  - `gl_FrontColor`, `gl_BackColor` : couleurs
- Fragment Shader :
  - `gl_FragDepth` : profondeur du pixel

33

Swizzle

- Convention de notations (`vec4`)
  - position : `x, y, z, w`
  - couleur : `r, g, b, a`
  - texture : `s, t, p, q`
- Permutation des variables

```
vec4 res;
res.xyzw (par défaut)
res.xxxx, res.xyxy, res.xyzx, res.wzyx, res.xyww, etc…
```

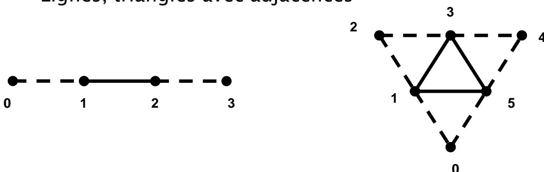
- Changement de dimensions

```
vec4 start; vec3 triple; vec2 couple; float alone;
triple = start.xyz;
couple = start.xy;
alone = start.x;
```

34

Geometry shader

- Création de primitives :
  - `EmitVertex()`
  - `EndPrimitive()`
- Types des primitives
  - Points, lignes, triangles
  - Lignes, triangles avec adjacences



35

Communication CPU ↔ GPU
Envoi d'une valeur

```
glUseProgram ( shaderProgram );
```
Utilisation d'un programme

```
glGetUniformLocation( shaderProgram, _name );
glUniform{1,2,3,4}f[v](…);
glUniformMatrix{2,3,4}fv(…);
```
Réglage d'un uniform

```
glGetAttribLocation( shaderProgram, _name );
glVertexAttrib{1,2,3,4}f[v](…);
```
Réglage d'un attribute

```
glUseProgramObject(0);
```
Fin de programme

36

Communication CPU ↔ GPU
Buffer Objects

- Mise à jour
  - **Static** : une et une seule fois pour l'application
  - **Dynamic** : modification multiples pour plusieurs rendus
  - **Stream** : une modification, un rendu
- Accès
  - **Read**: du GPU vers le CPU
  - **Draw**: du CPU vers le GPU
  - **Copy**: depuis et vers le GPU
- Création
  - `glGenBuffers(1, &_name);`
  - `glBindBuffer(NATURE, _name);`
  - `glBufferData(NATURE, size, ptr, TYPE);`

37

Communication CPU ↔ GPU
Buffer Objects

- **Vertex et Index Buffer Objects (VBO)**
  - Envoyer la géométrie via des tableaux
    - Position, Normal, Couleurs, Coordonnées de textures (`GL_ARRAY_BUFFER`)
    - Topologie (`GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER`)
  - Type : `[STATIC|DYNAMIC|STREAM]_DRAW`

38

Communication CPU ↔ GPU
Buffer Objects

- **FrameBuffer Objects (FBO)**
  - Object : `GL_FRAMEBUFFER`
  - Créer: `GenFramebuffers(…)` + `BindFramebuffer(…)`
  - Attacher
    - un RenderBuffer : `FramebufferRenderbuffer()`
      - n textures : `GL_COLOR_ATTACHMENTn`
      - z-buffer: `GL_DEPTH_ATTACHMENT`
      - stencil-buffer : `GL_STENCIL_ATTACHMENT`
    - une image : `FramebufferTexture[1|2|3]D(…)`

39

GLSL
Compilation

- Création Kernel
  - shader_id = glCreateShaderObjectARB(type);
    - Type = {GL_VERTEX_SHADER_ARB, GL_FRAGMENT_SHADER_ARB, GL_GEOMETRY_SHADER_EXT
  - glShaderSourceARB(shader_id,1,&const_shader_src,NULL);
    - const_shader_src = programme
- Compilation
  - glCompileShaderARB(shader_id);
- Debug
  - glGetProgramivARB(shader_id,GL_OBJECT_INFO_LOG_LENGTH_ARB,&info_log_length);
  - c_infolog = new char[info_log_length];
  - glGetInfoLogARB(shader_id,info_log_length,&nread,c_infolog);

40

GLSL
Compilation

- Création Programme
  - _program_shader = glCreateProgramObjectARB();
- Propriétés Geometry Kernel
  - glProgramParameteriEXT(_program_shader, GL_GEOMETRY_INPUT_TYPE_EXT, _input_device);
  - glProgramParameteriEXT(_program_shader, GL_GEOMETRY_OUTPUT_TYPE_EXT, _output_device);
  - glProgramParameteriEXT(_program_shader, GL_GEOMETRY_VERTICES_OUT_EXT, _nb_max_vertices);
- Attacher
  - glAttachObjectARB(_program_shader,_vertex_shader);
  - glAttachObjectARB(_program_shader, _geometry_shader);
  - glAttachObjectARB(_program_shader,_fragment_shader);
- Lier
  - glLinkProgramARB(_program_shader);

41

Communications CPU ↔ GPU
du CPU vers le GPU

- Pixel Buffer Object UNPACK (PBO)
  - Envoyer une texture au GPU
    `GL_PIXEL_UNPACK_BUFFER_ARB`
    - Activer le buffer
    - Remplir le buffer
    - Instancier la texture
  - Type : `[STATIC|DYNAMIC|STREAM]_DRAW`

42

Communications CPU ↔ GPU
du GPU vers le CPU

- Pixel Buffer Object PACK (PBO)
  - Récupérer une texture du GPU
    GL_PIXEL_PACK_BUFFER_EXT
    - Activer le buffer
    - Lire la sortie glReadPixels
    - Mapping
  - Type : [STATIC|DYNAMIC|STREAM]_READ

43

Communications CPU ↔ GPU
du GPU vers le CPU/GPU

- TRANSFORM FEEDBACK BUFFER OBJECT
  - Buffer d'éléments spécial GL_ARRAY_BUFFER_ARB
  - Spécifier
    - Les éléments à récupérer à la fin du VS ou du GS
    - Comment ? Un/Plusieurs buffers
  - Lors du rendu : GL_TRANSFORM_FEEDBACK_BUFFER_NV
    - Activer ou Désactiver la Rasterisation : glEnable(GL_RASTERIZER_DISCARD)
  - TYPE : [DYNAMIC|STREAM]_[COPY|READ]

44

Communications CPU ↔ GPU
du CPU/GPU vers le GPU

- Texture Buffer Objects (TBO)
  - Envoyer une texture accessible comme un tableau
    - Utilisation : Réutiliser la sortie du pixel shader comme un buffer de géometrie
  - GL_TEXTURE_BUFFER_EXT
  - Type : [STATIC|DYNAMIC|STREAM]_[DRAW|COPY]
  - glTexBufferEXT: association avec la texture

45

Communications CPU ↔ GPU
du CPU vers le GPU

- Bindable Uniform Buffer Objects (BUBO)
  - Envoyer des uniforms accessibles par **TOUS** les shaders
    - Minimiser l'envoi de constantes (et aussi la place mémoire)
  - GL_UNIFORM_BUFFER_EXT
  - Type : STATIC_DRAW
  - glUniformBufferExt: association mémoire buffer

46

Rendu off-screen

- FrameBuffer Objects (FBO) :Type de Textures
  - Flottantes rectangles : gl_FragData[n]
  - Entières rectangles : varying out [i|u]vec4 data
  - Tableau de textures 1D, 2D (layers) :
    - glFramebufferTextureArrayExt(),TEXTURE_[1D|2D]_ARRAY_EXT
    - gl_Layer

47

Rendu off-screen

- FrameBuffer Objects (FBO)
  - Rendu
    - Activer le FrameBuffer
    - Activer le rendu dans les différentes textures
    - Dessiner
    - Terminer

48

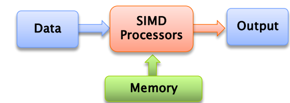
Conseils

- 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 !
  - Si un paramètre change
    - vite : fragment shader
    - lentement : vertex shader
    - rarement : CPU ⇨ uniform
  - Textures pour encoder les fonctions trop complexes
  - Utilisez les fonctions fournies plutôt que de les re-développez.

49

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



50

GPGPU – Applications

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

51

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

52

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/

53