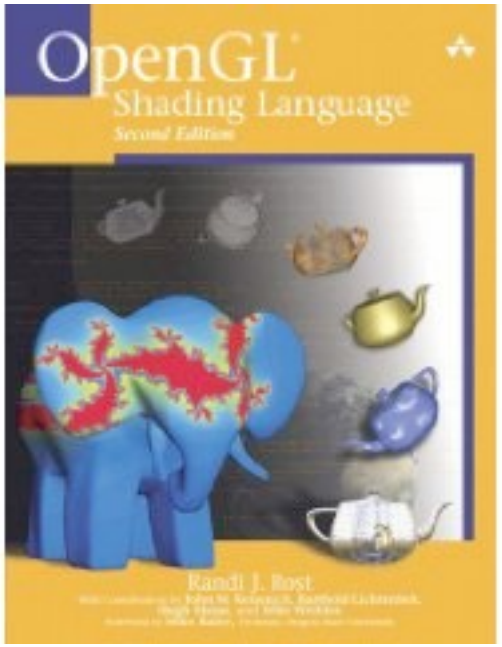
# Les Shaders

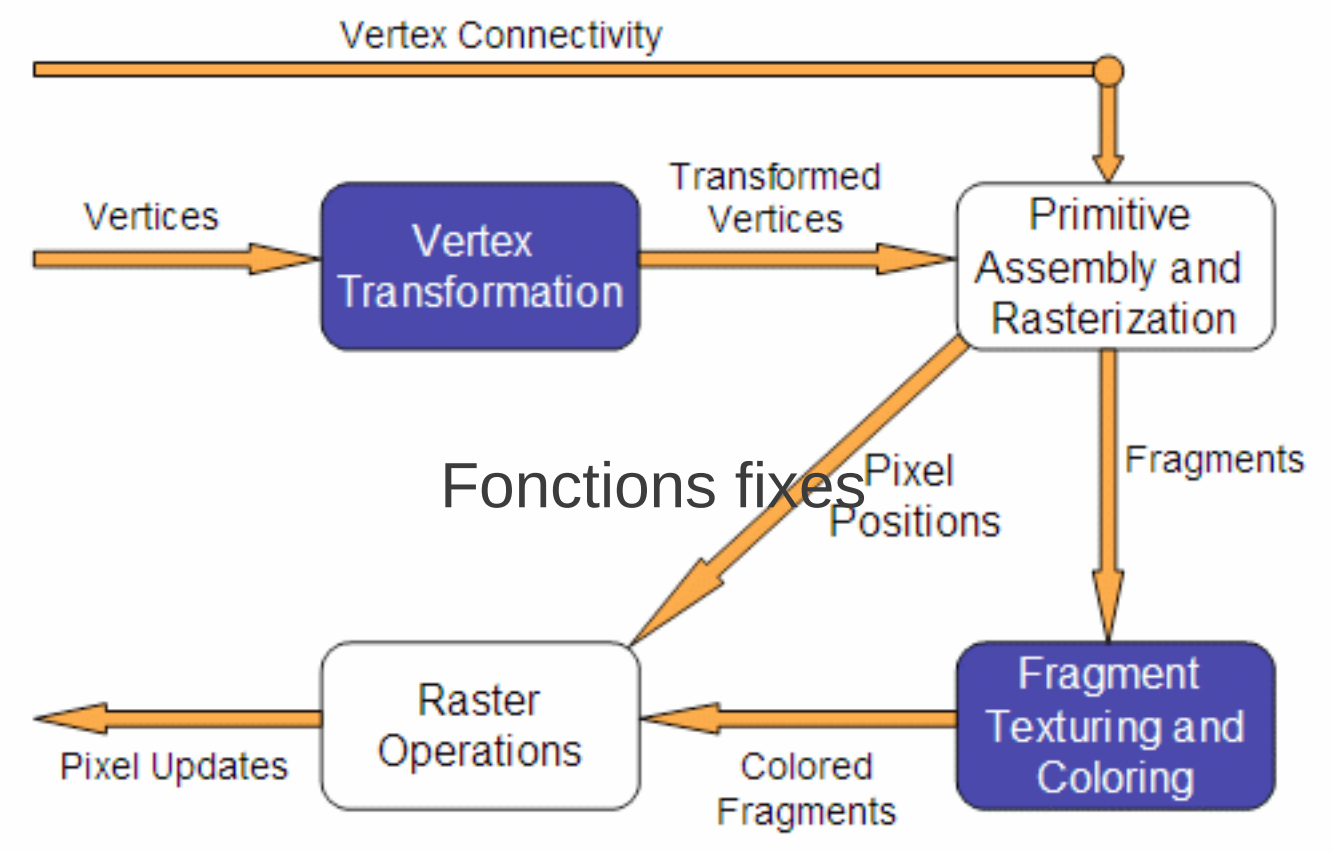
(*anglais*, du verbe **to shade** : ombrager ou estomper, nuancer)

# Avant propos

- GLSL:  GL Shading Language définit par l'ARB
- Cg: spécifiquement développé par Nvidia
- Les 2 produisent le même code compilé
- Le GLSL fait partie de OpenGL 2.0 et de requière pas de librairie spécifique.
- GLSL est plus proche de la syntaxe OpenGL.
- Ref: Orange Book
- http://www.lighthouse3d.com



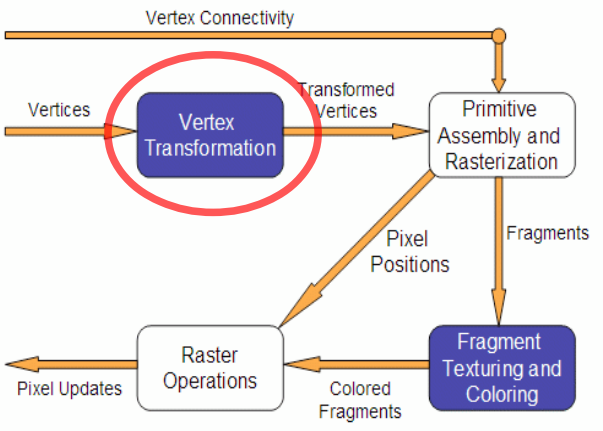
# Le pipeline Graphique



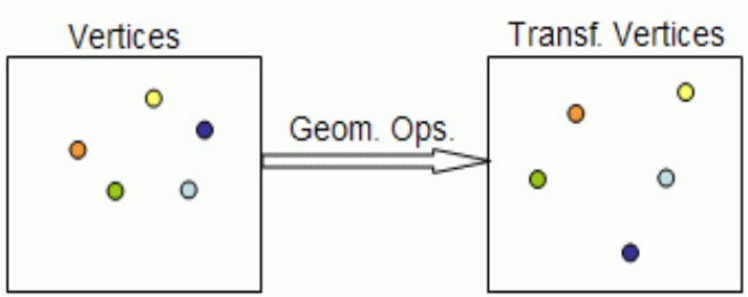

Fonctions fixes

Fonctions fixes *ou* programmables

# Les transformations de points

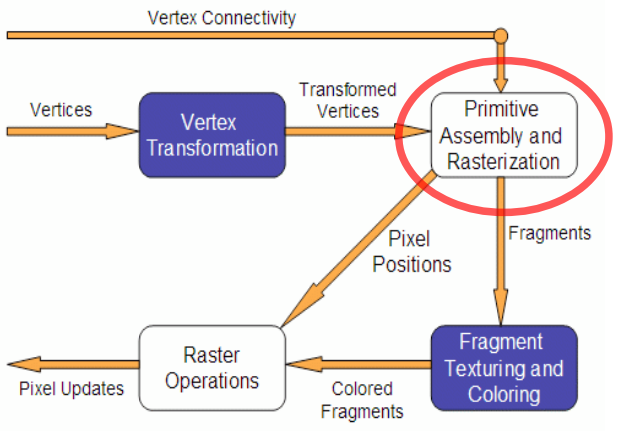



- **Un point:**
  - ensemble d'attributs:
    - localisation
    - couleur
    - normal
    - coordonnées de texture
    - ...
  - Ce sont les entrées de ce traitement




- **Traitements fixes:**
  - Transformations sur les positions des points
  - Calculs d'éclairements
  - Génération et transformations des coordonnées de textures

# Assemblage des primitives et rasterisation

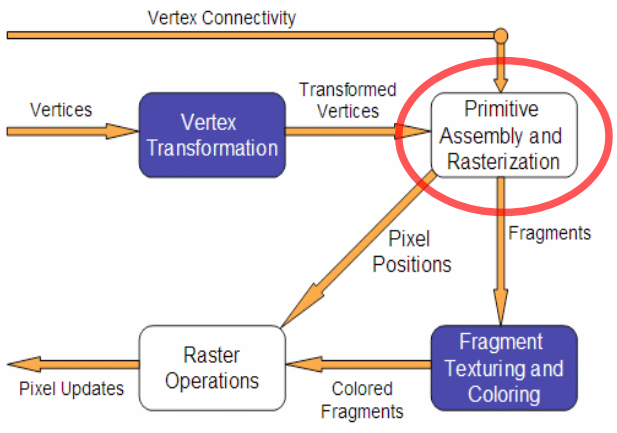


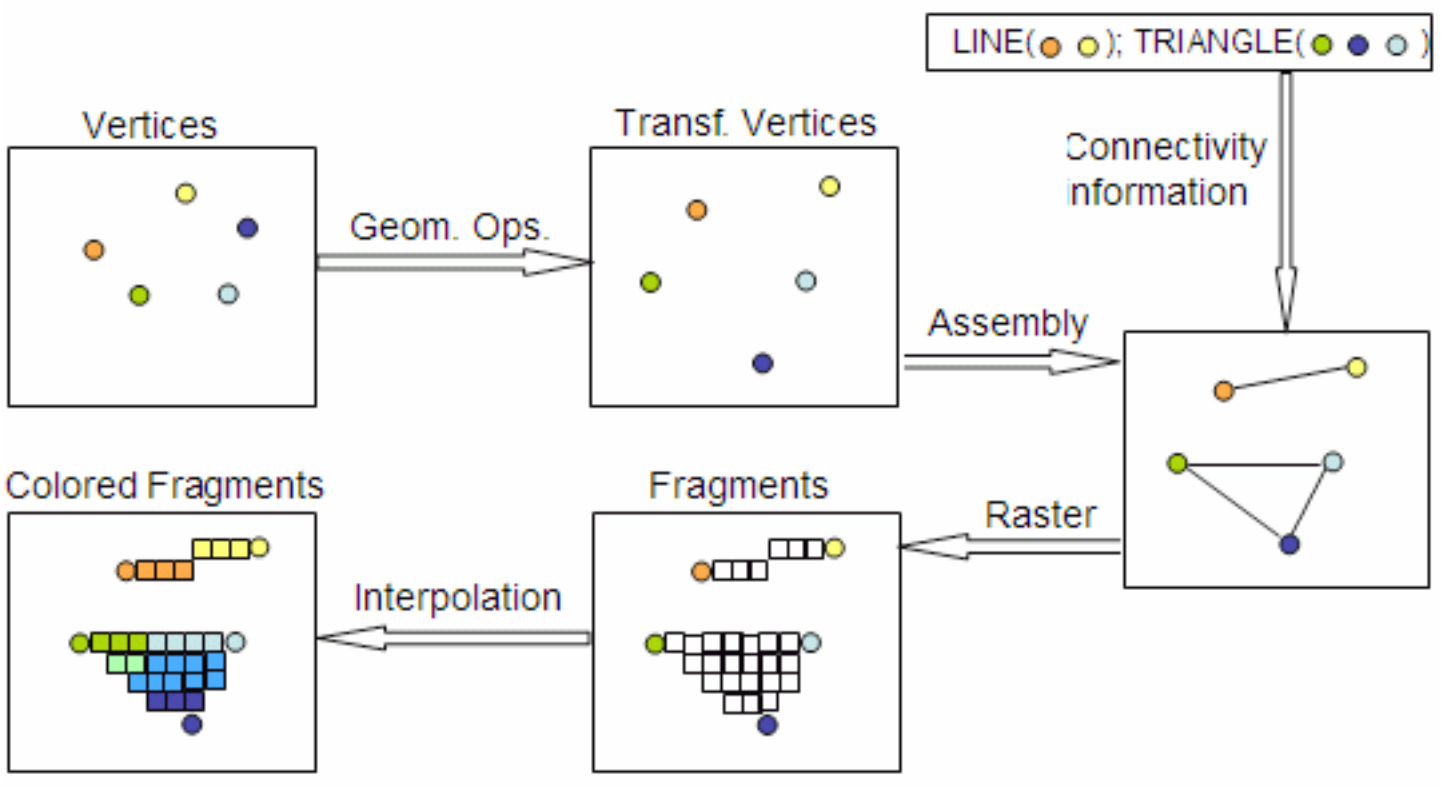

- **Inputs:**
  - Points transformés
  - Connectivité
- **Traitements fixes:**
  - Assemblage des primitives:
    - création des fragments et de leur positions

      Fragment=Donnée qui permet de composer un pixel à une position spécifique.

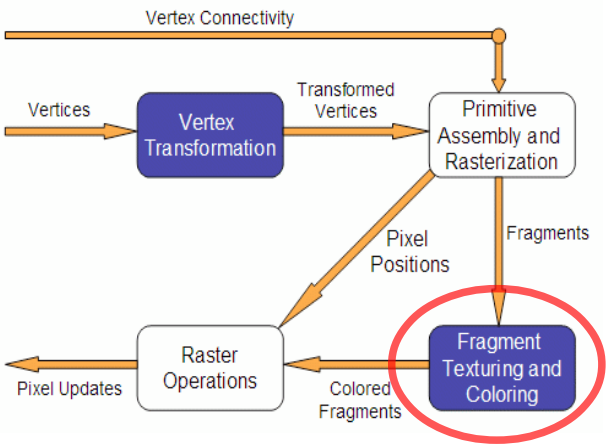
      Un fragment contient une couleur, des coordonnées de texture, ...
- **Outputs:**
  - Position du fragment dans le framebuffer
  - Les valeurs interpolées pour chaque fragment des attributs calculés à l'étape de transformation des points

# Assemblage des primitives et rasterisation



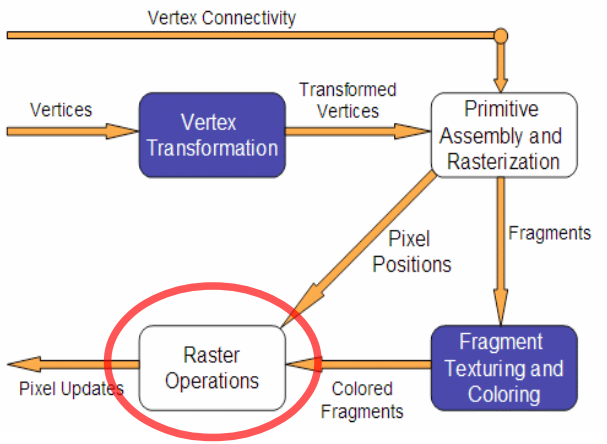



# Texturation et coloration des fragments



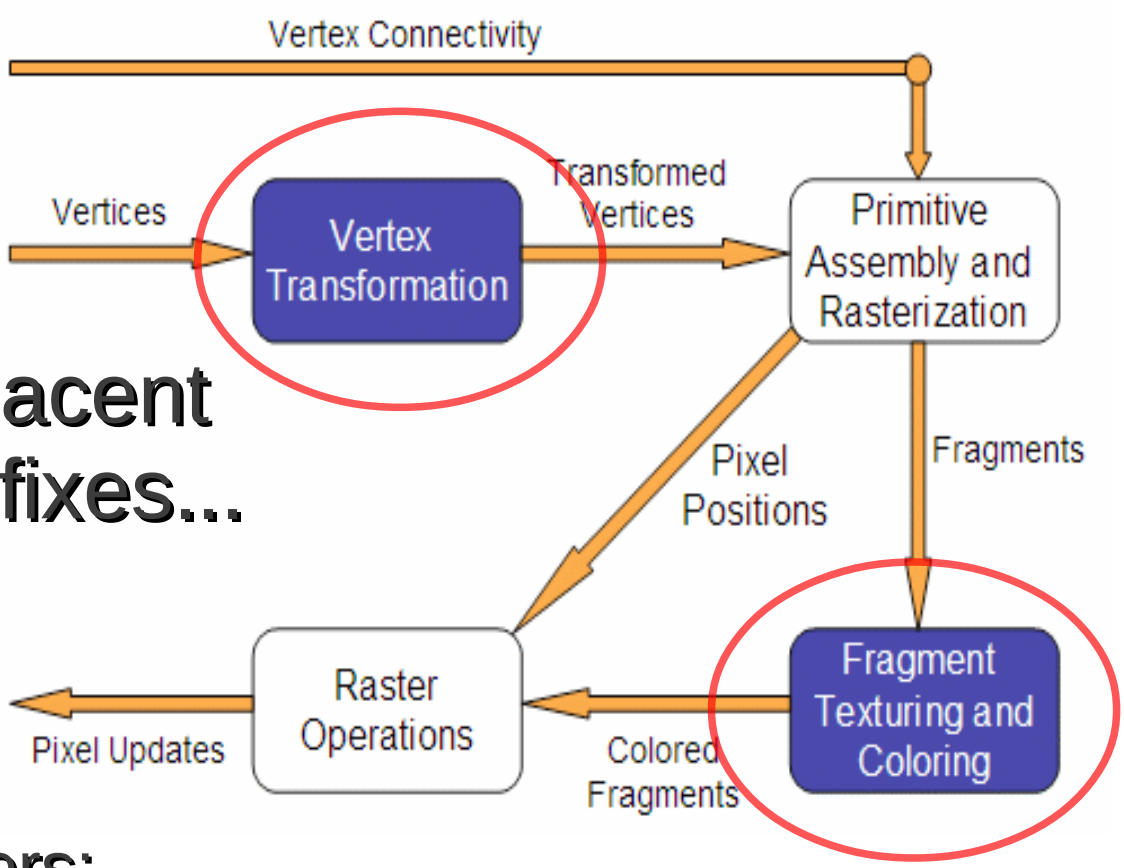

- **Inputs:**
  - Informations interpolées des fragments
- **Traitements fixes:**
  - Combination:
    - couleurs
    - textures
  - Effet de fog
- **Outputs:**
  - Fragment colorées
  - Profondeur du fragment

# Rastering final




- **Inputs:**
  - Position des  pixels
  - Les profondeurs et couleurs des fragments.
- **Traitements fixes:**
  - Scissor test
  - Alpha test
  - Stencil test
  - Depth test
- **Outputs:**
  - Si tests ok: alors mise à jour du framebuffer
  - Ici a lieu le blending puisque le framebuffer y est accessible seulement là.

# Les shaders remplacent certaines fonctions fixes...




- Pour les vertex shaders:
  les transformations de points
- Pour les pixel shaders:
  La texturation et coloration des fragments

# Les geometry shaders!

- Nouveaux depuis les shader model 4.0, le geometry shader permet de modifier la géométrie de chaque polygone primitif.
- Il est exécuté entre le vertex shader et le fragment shader. Les geometry shader ont été implémentés avec la nouvelle version DirectX 10 et OpenGL 3.0
- Un geometry shader prend en entrée les données d'une primitive, et renvoie une ou plusieurs primitives (incluant souvent la même qu'en entrée éventuellement modifiée).

# Le processeur de vertex

- Il exécute les vertex shaders
- Inputs:
  - position
  - normales
  - couleur
  - ...ça dépend de ce qu'envoie OpenGL...
- Exemple qui n'envoie que couleur et position.

```
glBegin(...);
glColor3f(0.2,0.4,0.6);
glVertex3f(-1.0,1.0,2.0);

glColor3f(0.2,0.4,0.8);
glVertex3f(1.0,-1.0,2.0);
glEnd();
```

# Le processeur de vertex

- **Ce que l'on peut coder:**
  - Transformation sur la position en utilisant les matrices  modelview et projection.
  - Calcul de normale
  - Génération et transformation de coordonnées de texture
  - Calcul d'éclairage par point et valeurs utiles pour le calcul d'éclairage par pixel.
  - Calcul de couleur
- **Pas obligé de tout faire!**
- **MAIS ce qui n'est pas fait ne l'est pas non plus par les fonctions fixes:**
  - Pas de mélange des traitements
  - Il faut remplacer tout l'étage du pipeline graphique

# Le processeur de vertex

- Le  vertex processor n'as pas d'info concernant la connectivité:
  - Il ne peut pas faire des opérations qui requièrent ce genre d'info.
  - Exemple: pas de back face culling
  - Les points sont traité individuellement sans lien entre eux.
- Le vertex shader doit au minimum écrire la variable de position: gl_Position.
  - en utilisant les matrices modelview et de  projection.
- Il a accès aux états OpenGL , donc il peut faire des opérations en conséquence comme celles sur la lumière qui utilise les paramétrages de matériaux.
- Il peut aussi accéder aux textures sur les architectures modernes.

# Le processeur de vertex

- Exemple:

```
void main()

{

   gl_Position = ftransform();

}
```

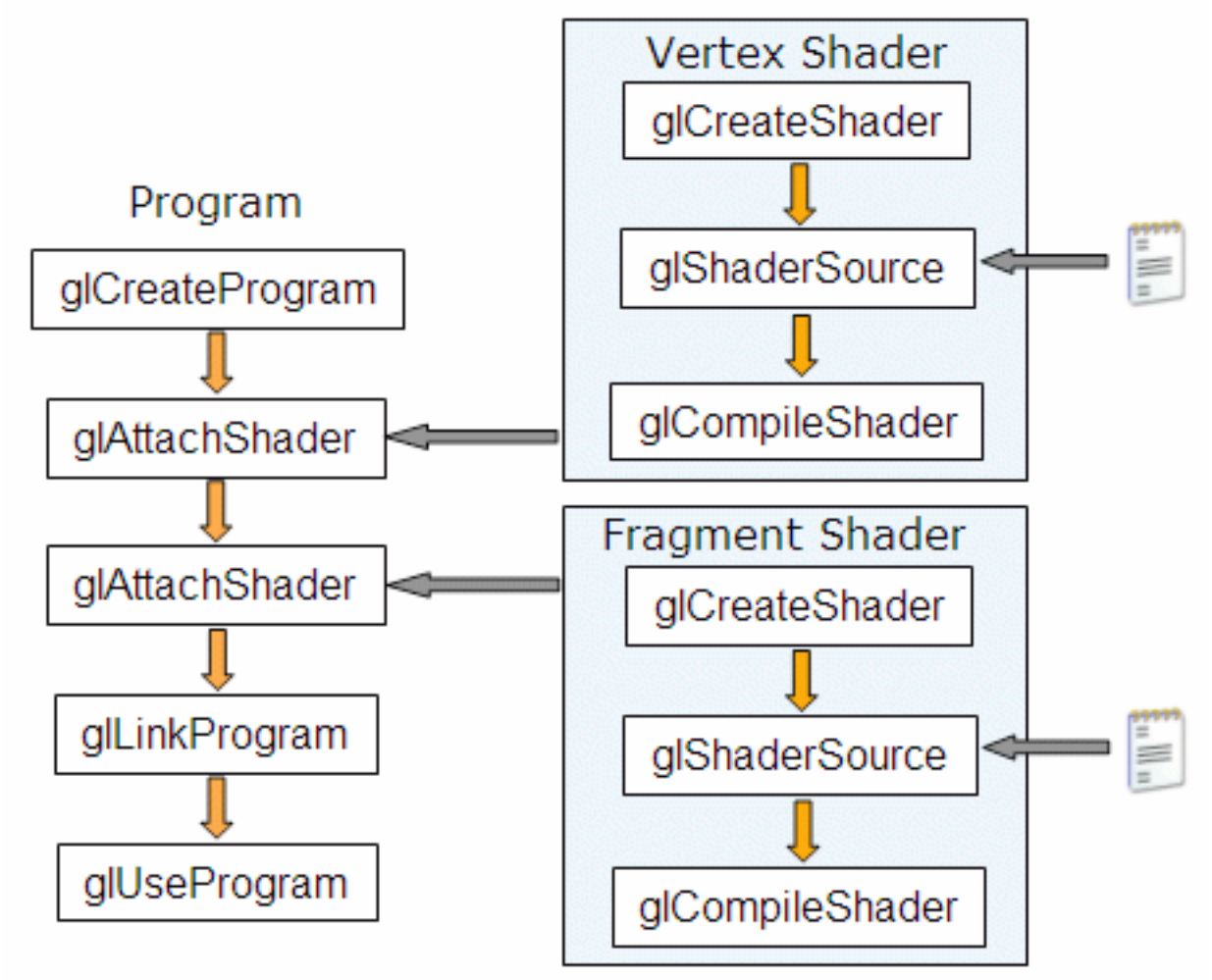
# Le processeur de fragment

- **Il exécute le fragment shader**
- **Input:**
  - Les valeurs de l'étage précédent:
    - Couleurs
    - Normales
    - Positions
- **Ce qui est codé:**
  - Les couleurs par pixel
  - Les coordonnées de texture par pixel
  - L'application des textures
  - Le brouillard
  - Les normales en cas d'éclairage par pixel

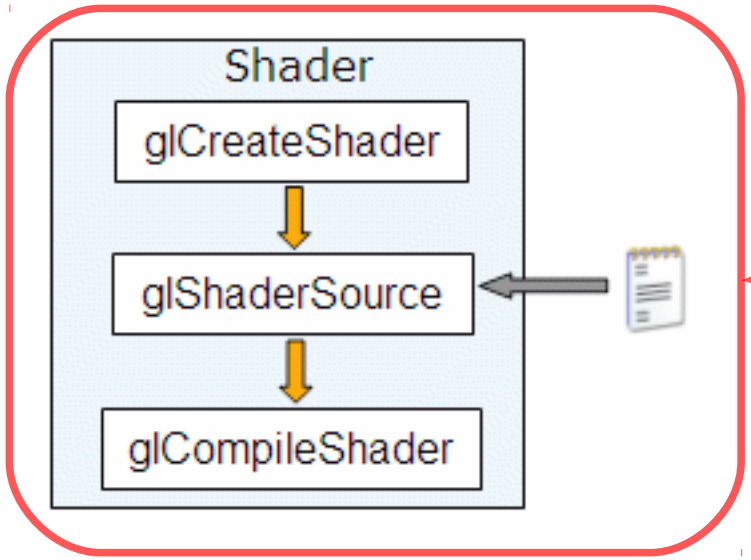
# Le processeur de fragment

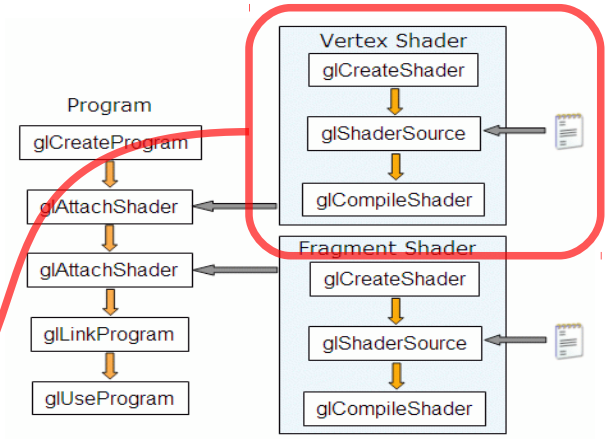
- Comme pour le précédent shader, il est impossible de mélanger fonctions fixes et shader.
- Il faut tout coder ou rien!
- Le shader n'opère que sur un fragment, on n'a pas accès aux  voisins. On a accès aux variables OpenGL comme par exemple celles du fog.
- On a accès à la position du pixel mais on ne peut pas la changer.
- Options de sortie:
  - désactiver le fragment (aucune sortie)
  - calcul de la couleur finale du fragment: gl_FragColor ou  gl_FragData quand il y a plusieurs sorties (rendering to multiple targets).
- La profondeur peut être écrite aussi.

# Etapes pour créer les shaders



# Etapes pour créer les shaders



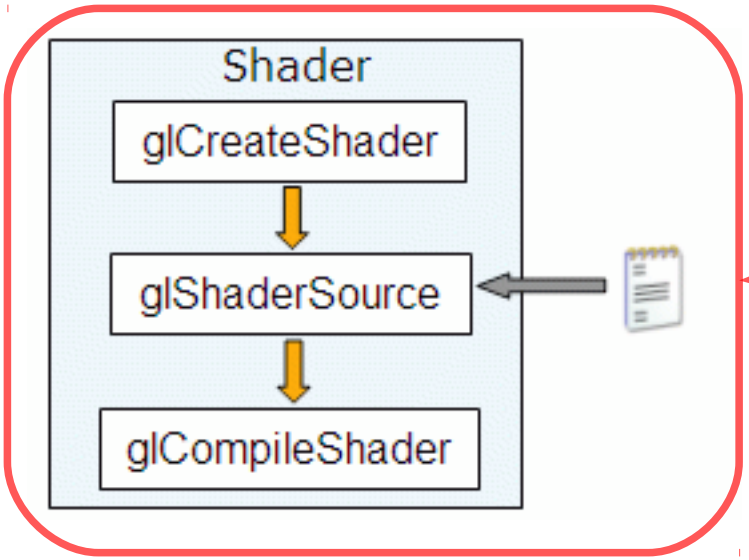

- Création d'un container pour le shader

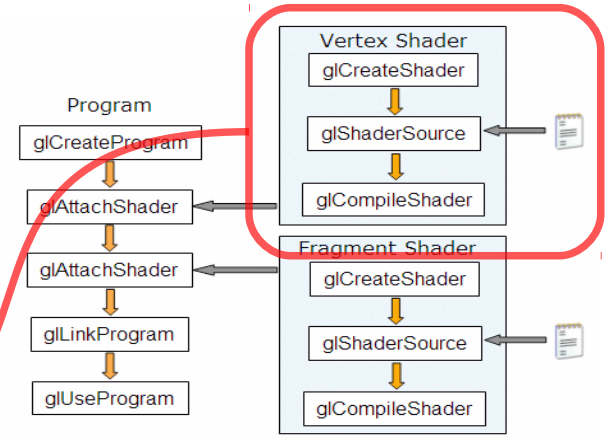
```
GLuint glCreateShader(GLenum shaderType);
```

- Paramètre:

  `shaderType` - `GL_VERTEX_SHADER` or `GL_FRAGMENT_SHADER`.

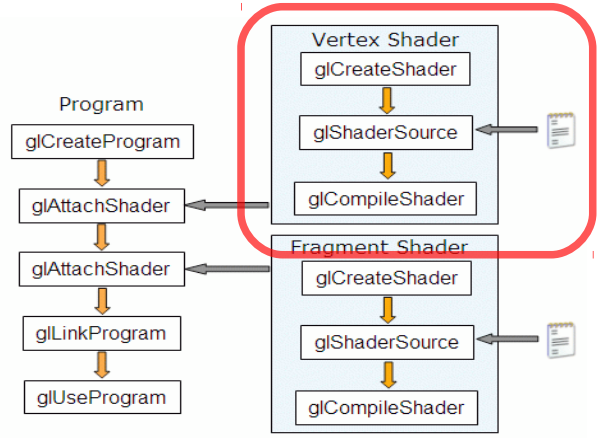
# Etapes pour créer les shaders




- On peut créer plusieurs shader mais il faut une seule fonction main() pour chaque type de shader.

# Etapes pour créer les shaders




- Création du code du shader
- Il est passé sous la forme d'un tableau de chaines de caractères:

```
void glShaderSource(GLuint shader, int numOfStrings, const char **strings, int *lenOfStrings);
```

Paramètres:

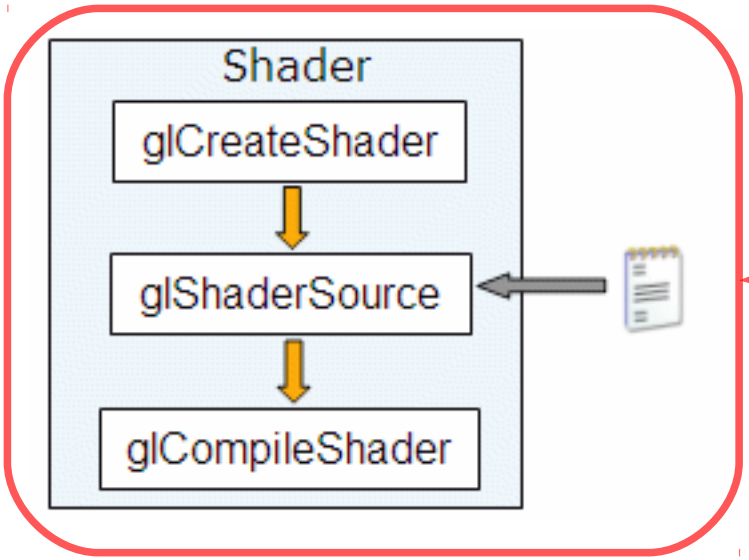
`shader` – le container du shader.

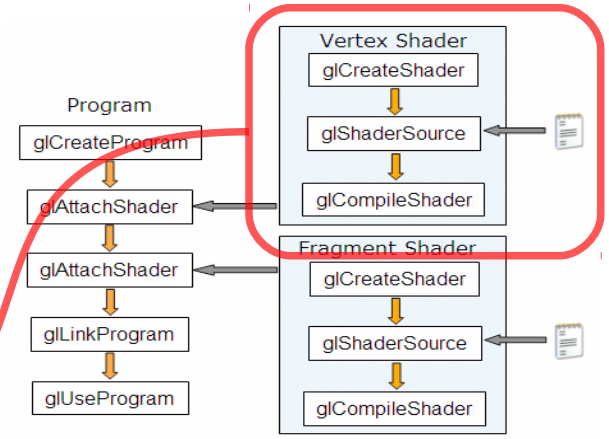
`numOfStrings` – le nombre de chaines dans le tableau.

`strings` – Le tableau.

`lenOfStrings` – Tableau avec la longueur de chaque chaine ou bien NULL si la fin de chaine est marquées par NULL.

# Etapes pour créer les shaders



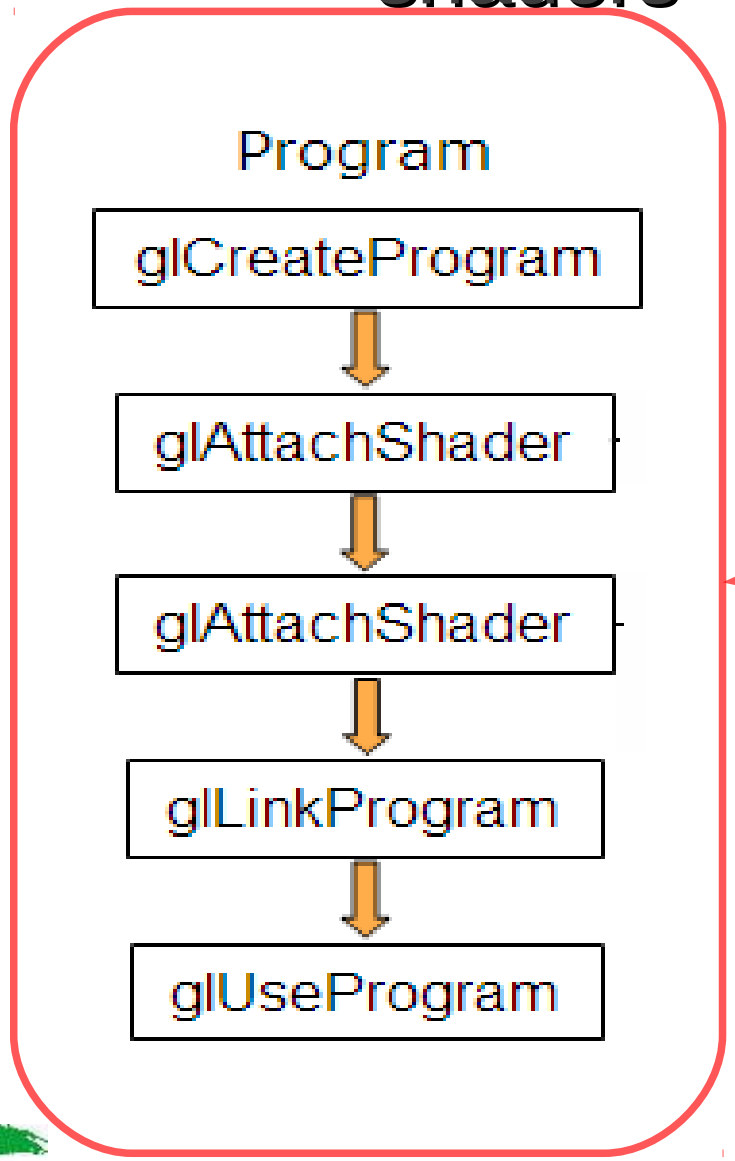

- Compilation du shader:

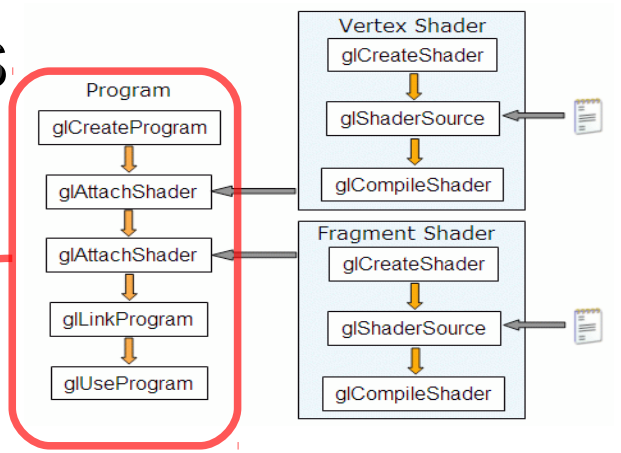
```
void glCompileShader(GLuint shader);
```

- Paramètres:

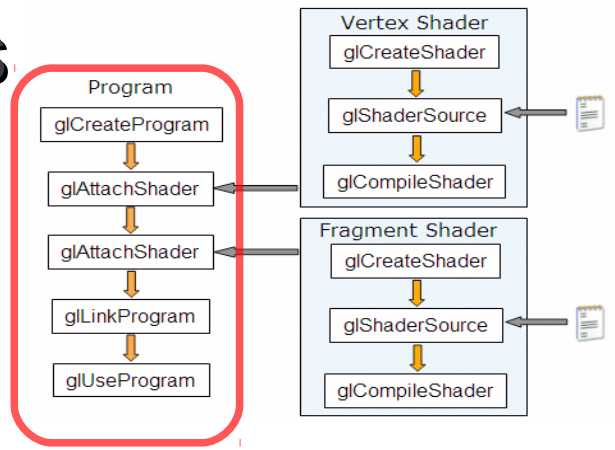
`shader` – le container du shader.

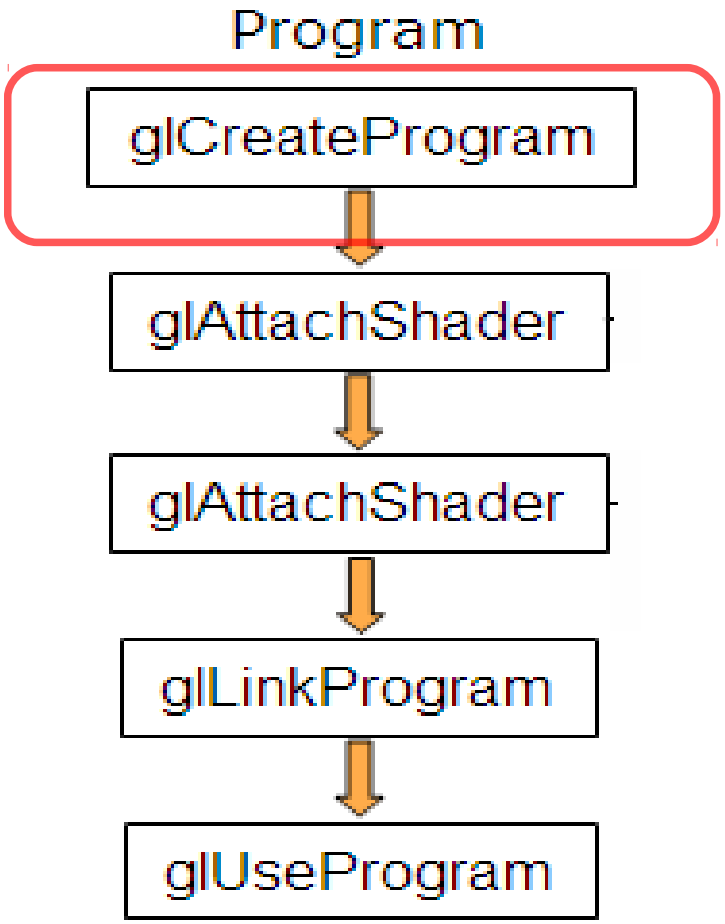
# Etapes pour rendre effectifs les shaders



# Etapes pour rendre effectifs les shaders



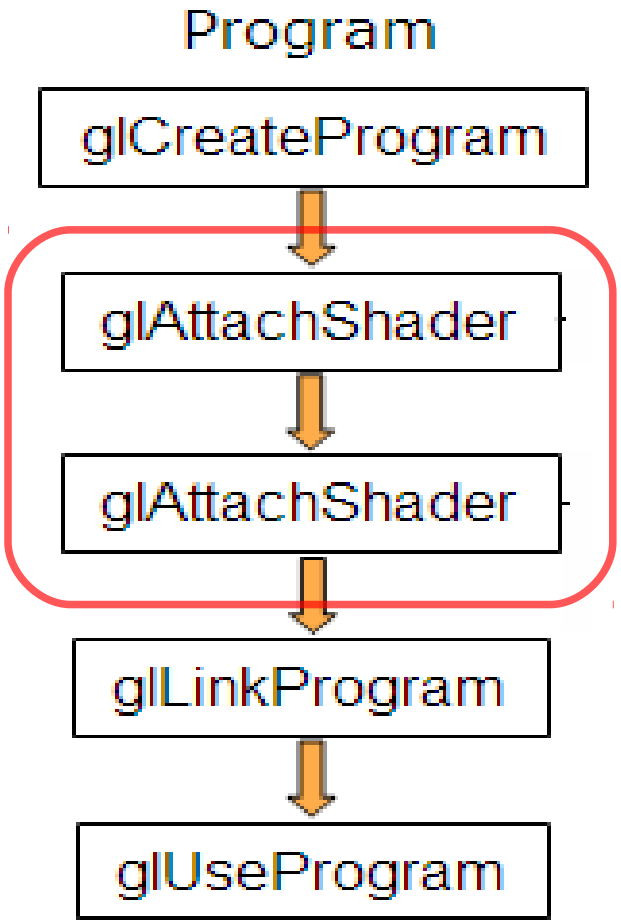



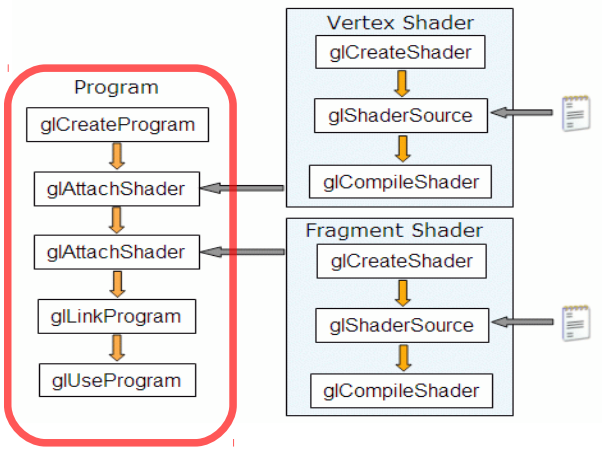

- Création d'un container:

```
GLuint glCreateProgram(void);
```

- Il est possible de créer plusieurs programmes et ainsi d'en changer en cours de rendu pour varier les effets

# Etapes pour rendre effectifs les shaders




- On attache les shaders

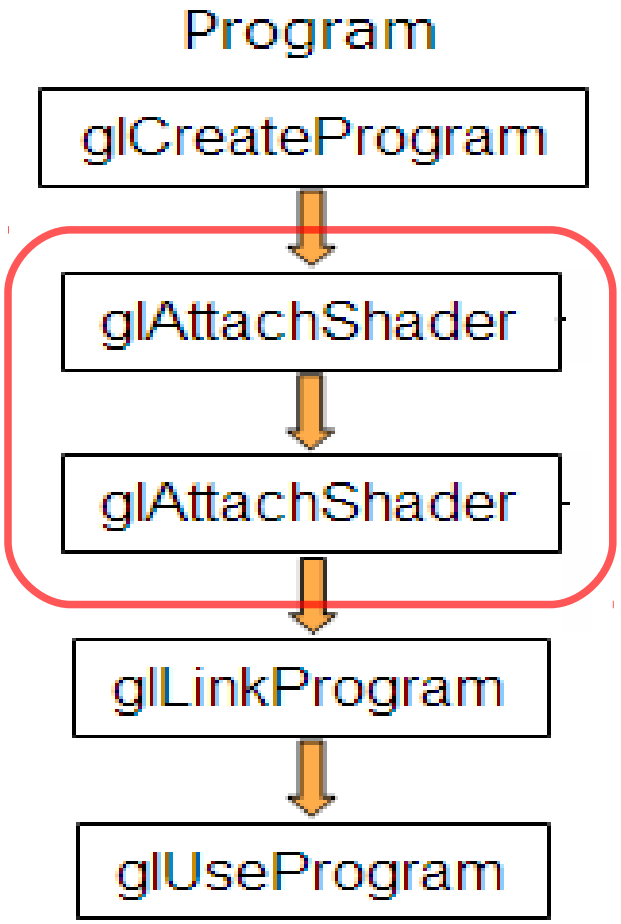
```
void glAttachShader(GLuint program, GLuint shader);
```

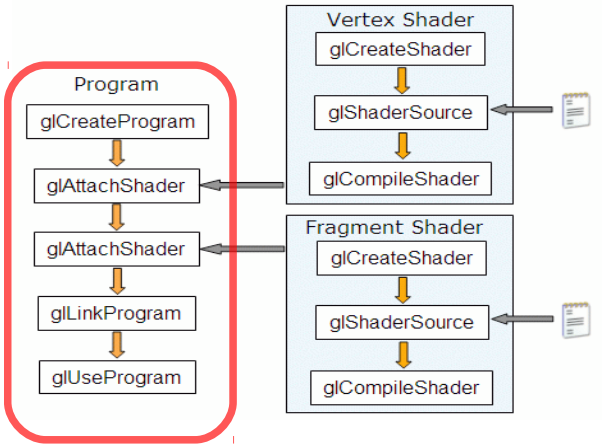
- Parameters:

`program` – Le container du programme

`shader` - Le container du shader visé.

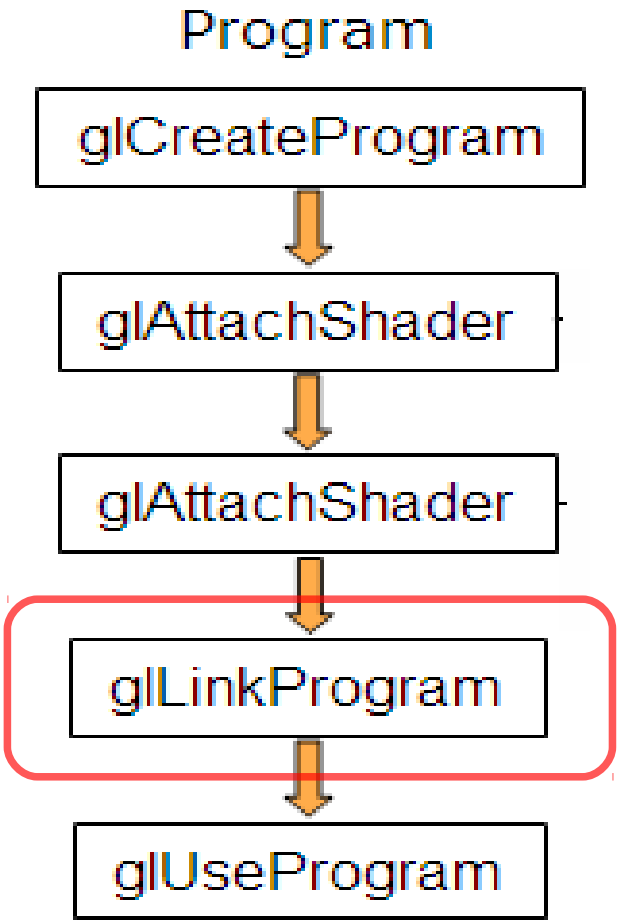
# Etapes pour rendre effectifs les shaders

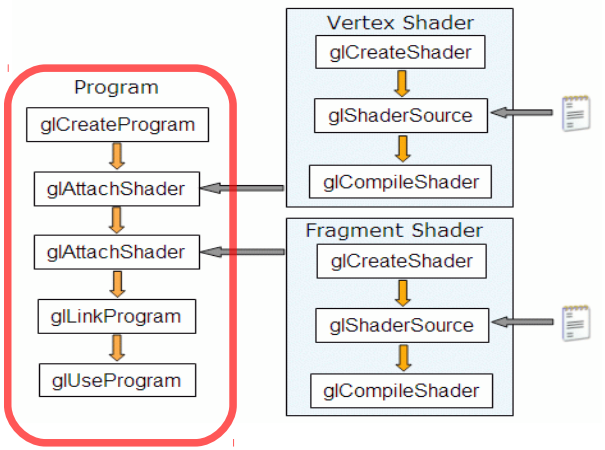



- Il faut attacher une paire de shaders :vertex/fragment
- Il est possible d'attacher un même shader à plusieurs programmes
- il est possible d'attacher plus d'un shader par type de shader si on a plusieurs fonctions. (mais un seul main)

# Etapes pour rendre effectifs les shaders

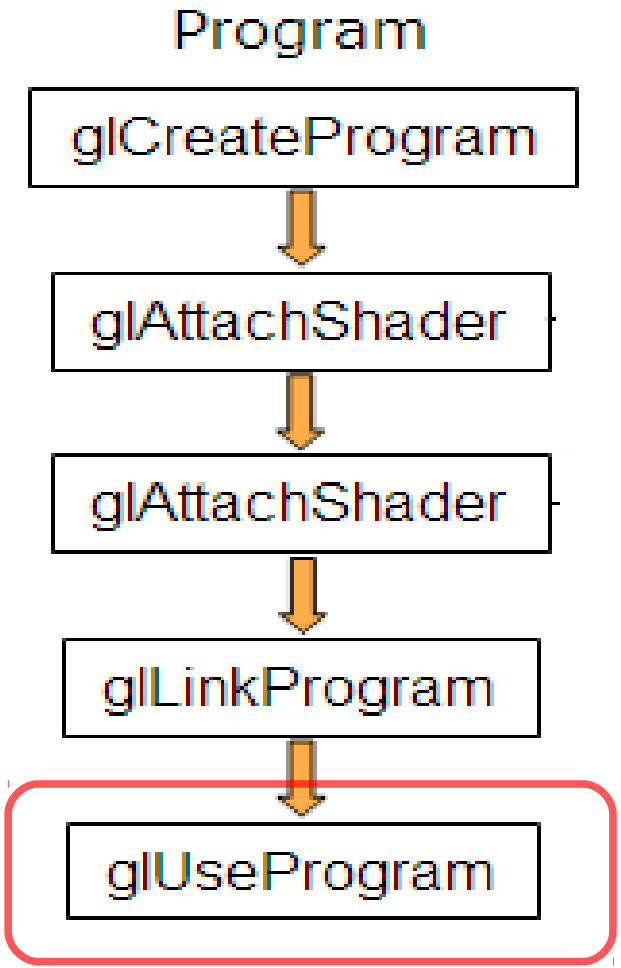


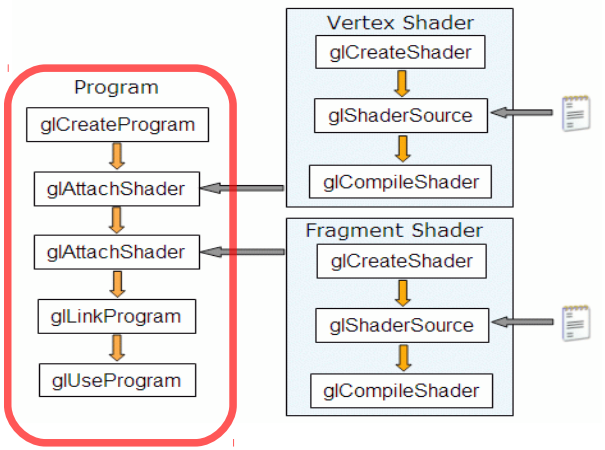




- Edition de lien:void `glLinkProgram(GLuint program);`
- Parameters:

  `program` – le container

# Etapes pour rendre effectifs les shaders




- Désignation du programme que l'on utilise:

```
void glUseProgram(GLuint prog);
```

- Paramètres:
- `prog` – le container du programme ou zero pour retourner aux fonctions fixes.

# Se débarrasser des shader

- Les détacher:

```
void glDetachShader(GLuint program,
GLuint shader);
```

- Les effacer:

```
void glDeleteShader(GLuint id);
```

  - id – Le container du shader ou du programme

# Communication entre OpenGL et les shader

- **OpenGL ⇨ shader:**
  - Les variables d'état OpenGL
  - Des variables non prédéfinies
    - exemple: temps passé pour une animation donnée...
  - Les textures : qui n'ont pas forcément une sémantique classique
- **shader ⇨ OpenGL:**
  - Les couleurs, frames buffers, etc

# Communication entre OpenGL et les shader

- Les variables de GLSL:
  - Uniform
  - Attribute
- Read only du point de vue des shaders

# Communication entre OpenGL et les shader

- **Les variables Uniform:**
  - Ne peut être changée que par primitive
    - ne peut pas être entre un glBegin/glEnd
    - Ne peut être une caractéristique d'un vertex
  - Ne peut être écrite par le shader
- **Mise en oeuvre:**
  - Allocation mémoire:
    - `GLint glGetUniformLocation(GLuint program, const char *name);`

      `program` – container de program

      `name` – nom de la variable sous la forme d'une chaine.

# Les variables Uniform

- **Mise en oeuvre :**
  - Affectation (ici f pour float mais idem avec i pour les integers):
    - `void glUniform1f(GLint location, GLfloat v0);`
    - `void glUniform2f(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1);`
    - `void glUniform3f(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1, GLfloat v2);`
    - `void glUniform4f(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1, GLfloat v2, GLfloat v3);`
    - `GLint glUniform{1,2,3,4}fv(GLint location, GLsizei count, GLfloat *v);`
  - Paramètres:
    - `location` – position mémoire.
    - `v0,v1,v2,v3` - float values.
    - `count` – nombre d'éléments dans le tableau
    - `v` – tableau de floats

# Les variables Uniform

- **Mise en oeuvre :**
  - Affectation des matrices:
    - `GLint glUniformMatrix{2,3,4}fv(GLint location, GLsizei count, GLboolean transpose, GLfloat *v);`
  - Paramètres:
    - location – position mémoire
    - count – le nombre de matrices
    - transpose - 1 indique que la matrice est en mode row major et zero est réservé au mode column major.
    - v – tableau de floats

# Exemple

```
GLint loc1,loc2,loc3,loc4;
      float specIntensity = 0.98;
      float sc[4] = {0.8,0.8,0.8,1.0};
      float threshold[2] = {0.5,0.25};
      float colors[12] = {0.4,0.4,0.8,1.0,
                                  0.2,0.2,0.4,1.0,

0.1,0.1,0.1,1.0};
      loc1 =
glGetUniformLocation(p,"specIntensity");
      glUniform1f(loc1,specIntensity);

      loc2 = glGetUniformLocation(p,"specColor");
      glUniform4fv(loc2,1,sc);

      loc3 = glGetUniformLocation(p,"t");
      glUniform1fv(loc3,2,threshold);

      loc4 = glGetUniformLocation(p,"colors");
      glUniform4fv(loc4,3,colors);
```

```
uniform float
specIntensity;
uniform vec4 specColor;
uniform float t[2];
uniform vec4 colors[3];
```

# Les variables Attribute

- **Elles sont utilisées pour les paramètres qui changent avec les vertex.**
  - Entre glBegin et glend.
  - Ne peuvent pas être lues par le fragment shader
- **Mise en oeuvre:**
  - Allocation mémoire:
    - `GLint glGetAttribLocation(GLuint program, const char *name);`

      `program` – container de program

      `name` – nom de la variable sous la forme d'une chaine.

# Les variables Attribute

- **Mise en oeuvre :**
  - Affectation (ici f pour float mais idem avec i pour les integers):
    - `void glAttrib1f(GLint location, GLfloat v0);`
    - `void glAttrib2f(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1);`
    - `void glAttrib3f(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1, GLfloat v2);`
    - `void glAttrib4f(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1, GLfloat v2, GLfloat v3);`
    - `GLint glAttrib{1,2,3,4}fv(GLint location, GLsizei count, GLfloat *v);`
  - Paramètres:
    - `location` – position mémoire.
    - `v0,v1,v2,v3` - float values.
    - `count` – nombre d'éléments dans le tableau
    - `v` – tableau de floats

# Exemple

```
attribute float height;
```

```
loc = glGetAttribLocation(p,"height");
glBegin(GL_TRIANGLE_STRIP);

            glVertexAttrib1f(loc,2.0);
            glVertex2f(-1,1);

            glVertexAttrib1f(loc,2.0);
            glVertex2f(1,1);

            glVertexAttrib1f(loc,-2.0);
            glVertex2f(-1,-1);

            glVertexAttrib1f(loc,-2.0);
            glVertex2f(1,-1);

    glEnd();
```

# Les variables Attribute

- **Avec les vertex array :**
  - déclaration:
    - `void glEnableVertexAttribArray(GLint loc);`
      `loc - the location of the variable.`
  - Le pointeur sur les données:
  - `glVertexAttribPointer(GLint loc, GLint size, GLenum type, GLboolean normalized, GLsizei stride, const void *pointer);`
    - `loc - position`
    - `size - the number of components per element, for instance: 1 for float; 2 for vec2; 3 for vec3, and so on.`
    - `type - The data type associated: GL_FLOAT is an example.`
    - `normalized - if set to 1 then the array values will be normalized, converted to a range from -1 to 1 for signed data, or 0 to 1 for unsigned data.`
    - `stride - the spacing between elements. Exactly the same as in OpenGL.`
    - `pointer - pointer to the array containing the data.`

# Exemple

```
attribute float height;
```

```
float vertices[8] = {-1,1, 1,1, -1,-1, 1,-1};
float heights[4] = {2,2,-2,-2};
      ...

loc = glGetAttribLocation(p,"height");

glEnableClientState(GL_VERTEX_ARRAY);
glEnableVertexAttribArray(loc);

glVertexPointer(2,GL_FLOAT,0,vertices);

glVertexAttribPointer(loc,1,GL_FLOAT,0,0,heights)
;
```

# Variables GLSL

- Simples:

```
float
bool
int
```

- Vecteurs:

```
vec{2,3,4} a vector of 2,3,or 4 floats
bvec{2,3,4} bool vector
ivec{2,3,4} vector of integers
```

- Matrices:

```
mat2
mat3
mat4
```

# Variables GLSL

```
struct dirlight {
vec3 direction;
vec3 color;
};

float a,b;          // two vector (yes, the comments are like in C)
     int c = 2;              // c is initialized with 2
     bool d = true; // d is true

float b = 2;        // incorrect, there is no automatic type casting
float e = (float)2;// incorrect, requires constructors for type
casting
```

# Variables GLSL

```
int a = 2;
float c = float(a); // correct. c is 2.0

vec3 f;              // declaring f as a vec3
vec3 g = vec3(1.0,2.0,3.0); // declaring and initializing g

vec2 a = vec2(1.0,2.0);
vec2 b = vec2(3.0,4.0);
vec4 c = vec4(a,b) // c = vec4(1.0,2.0,3.0,4.0);

vec2 g = vec2(1.0,2.0);
float h = 3.0;
vec3 j = vec3(g,h);
```

# Variables GLSL

```
mat4 m = mat4(1.0) // initializing the diagonal of the matrix with
1.0

vec2 a = vec2(1.0,2.0);
vec2 b = vec2(3.0,4.0);

mat2 n = mat2(a,b); // matrices are assigned in column major order

mat2 k = mat2(1.0,0.0,1.0,0.0); // all elements are specified
```

# Variables GLSL

```
struct dirlight {           // type definition
            vec3 direction;
            vec3 color;
    };

dirlight d1;
dirlight d2 = dirlight(vec3(1.0,1.0,0.0),vec3(0.8,0.8,0.4));

d1.direction = vec3(1.0,1.0,1.0);
```

# Variables GLSL

- Des facilités

```
vec4 a = vec4(1.0,2.0,3.0,4.0);

float posX = a.x;
float posY = a[1];

vec2 posXY = a.xy;

float depth = a.w
```

# Structures de contrôle

```
if (bool expression)
        ...
  else
        ...


  for (initialization; bool expression; loop expression)
        ...

  while (bool expression)
        ...

  do
        ...
  while (bool expression)
```

`continue` – saut à la prochaine itération
`break` – fin de la boucle
`discard` -sortie du shader de fragment et pas d'écriture en sortie

# Fonctions

- Au moins une fonction:

```
void main()
```

- Type de paramètres:
  - `in` - lecture
  - `out` - sortie
  - `inout` – lecture ecriture
- Le Return permet aussi de réaliser une sortie

```
vec4 toonify(in float intensity) {
        vec4 color;
        if (intensity > 0.98)
                color =
vec4(0.8,0.8,0.8,1.0);
        else if (intensity > 0.5)
                color =
vec4(0.4,0.4,0.8,1.0);
        else if (intensity > 0.25)
                color =
vec4(0.2,0.2,0.4,1.0);
        else
                color =
vec4(0.1,0.1,0.1,1.0);
        return(color);
        }
```

# Les variables Varying

- Seul façon de transmettre des données depuis le shader de vertex vers celui de fragments.
- Ces données seront interpolées
- Elles sont en lecture seules pour les fragment shader

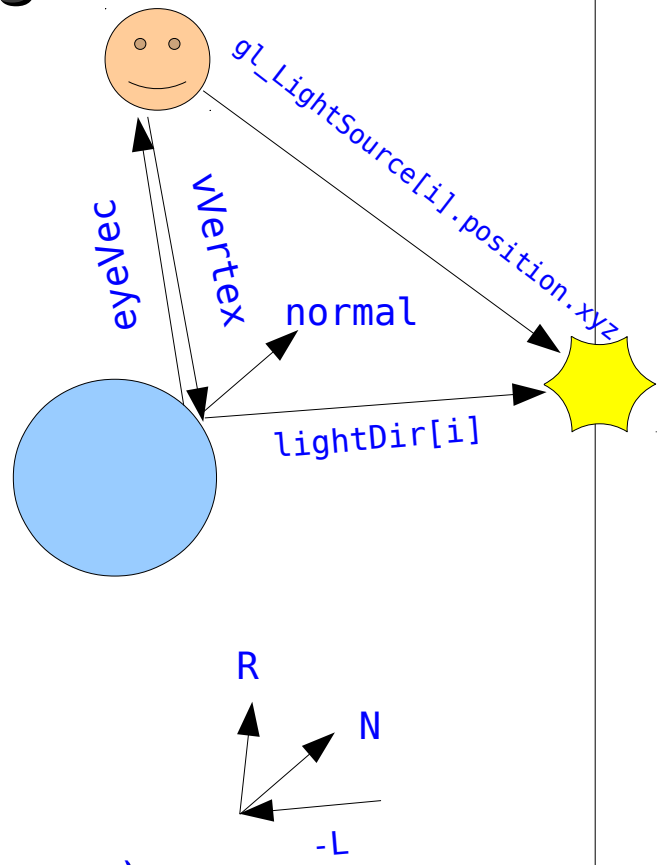
```
varying float intensity;
```

# Exemples: teapot bruitée et à éclairage mouvant

```
void main(void)
{
vec4 v = vec4(gl_Vertex);
v.y=noise1(v.y)+v.y;
v.x=noise1(v.x)+v.x;
v.z=noise1(v.z)+v.z;
gl_Position =
gl_ModelViewProjectionMatrix * v;
}
```

# Exemple: phong

```
varying vec3 normal, eyeVec;
#define MAX_LIGHTS 8
varying vec3 lightDir[MAX_LIGHTS];
uniform int numLights;
void main()
{
  gl_Position = ftransform();
  normal = gl_NormalMatrix * gl_Normal;
  vec4 vVertex = gl_ModelViewMatrix * gl_Vertex;
  eyeVec = -vVertex.xyz;
  int i;
  for (i=0; i<numLights; ++i)
    lightDir[i] =
      vec3(gl_LightSource[i].position.xyz - vVertex.xyz);
}
```



# Exemple: phong

```
varying vec3 normal, eyeVec;
#define MAX_LIGHTS 8
varying vec3 lightDir[MAX_LIGHTS];
uniform int numLights;
void main (void)
{
  vec4 final_color =
gl_FrontLightModelProduct.sceneColo
r;
  vec3 N = normalize(normal);
  int i;
  for (i=0; i<numLights; ++i)
  {
    vec3 L =
normalize(lightDir[i]);
    float lambertTerm = dot(N,L);
    if (lambertTerm > 0.0)
    {  final_color +=
       gl_LightSource[i].diffuse *
       gl_FrontMaterial.diffuse *
       lambertTerm;
      vec3 E = normalize(eyeVec);
      vec3 R = reflect(-L, N);
      float specular = pow(max(dot(R,
E), 0.0),
     gl_FrontMaterial.shininess);
      final_color +=
        gl_LightSource[i].specular *
        gl_FrontMaterial.specular *
        specular;
    }}
  gl_FragColor = final_color;
}
```