Les Tableaux de Sommets

En quête de performance...

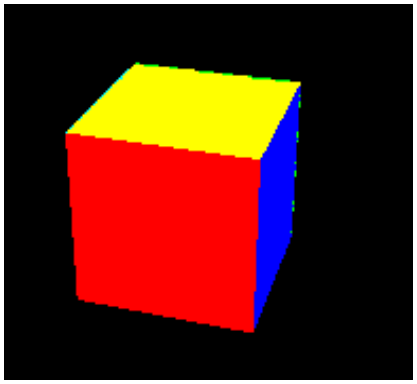
```
glBegin(GL_POLYGON);

 glVertex3fv(v0,0);

 glVertex3fv(v1,0);

 glVertex3fv(v2,0);

  ..............

    glEnd();
```

En quête de performance...

- Il s'agit d'autre part d'éviter la description redondante de sommets partagés par des polygones adjacents.
- Par exemple un cube est formé de 6 faces et 8 sommets. Si les faces sont décrites indépendamment, chaque sommet est traité 3 fois, une fois pour chaque face à laquelle il appartient.
- Les tableaux de sommets sont standards depuis la version 1.1 d'OpenGL

Exemple:

```
static GLubyte devant[] = {0,1,2,3};
static GLubyte deriere[] = {4,5,6,7};
static GLubyte droite[] = {1,5,6,2};
static GLubyte gauche[] = {0,3,7,4};
static GLubyte bas[] = {0,4,5,1};
static GLubyte haut[] = {3,2,6,7};
GLfloat points[] = {
0.0f, 0.0f, 0.0f,
1.0f, 0.0f, 0.0f,
1.0f,1.0f, 0.0f,
 0.0f,1.0f, 0.0f,
0.0f, 0.0f, -1.0f,
1.0f, 0.0f, -1.0f,
1.0f,1.0f, -1.0f,
 0.0f,1.0f, -1.0f,
 } ;
```



```
glVertexPointer(3,GL_FLOAT,0,points);
glTranslatef(-0.5,-0.5,0.5);
glColor3f(1.1f,0.0f,0.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,devant);
glColor3f(0.0f,1.0f,0.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,deriere);
glColor3f(0.0f,0.0f,1.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,droite);
glColor3f(0.0f,1.0f,1.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,gauche);
glColor3f(1.0f,1.0f,0.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,haut);
glColor3f(1.0f,0.0f,1.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,bas);
```

Comment procéder de manière générale

- Il s'agit d'abord d'activer jusqu'à six tableaux, stockant chacun un des six types de données suivantes :
  - Coordonnées des sommets
  - Couleurs RVBA
  - Index de positions dans les tableaux
  - Normales de surfaces
  - Coordonnées de texture
  - Indicateurs de contour des polygones
- Ensuite spécifier les données du ou des tableaux.
- Puis déréférencer le contenu des tableaux (accéder aux éléments) pour tracer une forme géométrique avec les données.

Comment procéder de manière générale

- Il y a trois méthodes différentes pour déréférencer le contenu des tableaux :
  - Accéder aux éléments du tableau un par un : accès aléatoire
  - Créer une liste d'éléments du tableau : accès méthodique
  - Traiter les éléments du tableau de manière séquentielle : accès séquentiel ou systématique

Activer les tableaux

- Cela se fait en appelant:

  `glEnableClientState(GLenum array)`
  - avec comme paramètre : GL_VERTEX_ARRAY, GL_COLOR_ARRAY, GL_INDEX_ARRAY, GL_NORMAL_ARRAY, GL_TEXTURE_COORD_ARRAY, ou GL_EDGE_FLAG_ARRAY.
- La désactivation d'un état se fait en appelant:

  `glDisableClientState(GLenum array)`
  - avec les mêmes paramètres.

Spécifier les données des tableaux

- Il faut indiquer l'emplacement où se trouvent les données et la manière dont elles sont organisées.
- Les différents types de données (coordonnées des sommets, couleurs, normales, ...) peuvent avoir été placées dans différentes tables, ou être entrelacées dans une même table.

Routines de spécification des tableaux

- Des routines permettent de spécifier des tableaux en fonction de leur type :
  - `void glVertexPointer(GLint taille, GLenum type, GLsizei stride, const GLvoid *pointeur);`
- Le paramètre `pointeur` indique l'adresse mémoire de la première valeur pour le premier sommet du tableau.
- Le paramètre `type` indique le type de données
- Le paramètre `taille` indique le nombre de valeurs par sommets, et peut prendre suivant les fonctions les valeurs 1, 2, 3 ou 4.
- Le paramètre `stride` indique le décalage en octets entre deux sommets successifs. Si les sommets sont consécutifs, il vaut zéro.

Routines de spécification des tableaux

- Six routines permettent de spécifier des tableaux en fonction de leur type :
  - `void glVertexPointer(GLint taille, GLenum type, GLsizei stride, const GLvoid *pointeur);`
  - `void glColorPointer(GLint taille, GLenum type, GLsizei stride, const GLvoid *pointeur);`
  - `void glIndexPointer(GLenum type, GLsizei stride, const GLvoid *pointeur);`
  - `void glNormalPointer(GLenum type, GLsizei stride, const GLvoid *pointeur);`
  - `void glTexCoordPointer(GLint taille, GLenum type, GLsizei stride, const GLvoid *pointeur);`
  - `void glEdgeFlagPointer(GLsizei stride, const GLvoid *pointeur);`

Accès à une liste d'éléments

- La méthode:
  `void glDrawElements(GLenum mode, GLsizei nombre, GLenum type, void *indices)`
  permet d'utiliser le tableau **`indices`** pour stocker les indices des éléments à afficher.
- Le nombre d'éléments dans le tableau d'indices est **`nombre`**
- Le type de données du tableau d'indices est **`type`**, qui doit être GL_UNSIGNED_BYTES, GL_UNSIGNED_SHORT, ou GL_UNSIGNED_INT
- Le type de primitive géométrique est indiqué par **`mode`** de la même manière que dans glBegin().
- glDrawElements() ne doit pas être encapsulé dans une paire glBegin()/ glEnd().

Accès à une liste d'éléments

- glDrawElements() vérifie que les paramètres mode, nombre, et type sont valides, et effectue ensuite un traitement semblable à la séquence de commandes :

```
int i;
glBegin(mode);
for (i = 0, i < nombre ; i++)
  glArrayElement(indice[i]);
glEnd();
```

- Exemple d'accès à un ensemble d'éléments des tableaux construits dans l'exemple 1 :

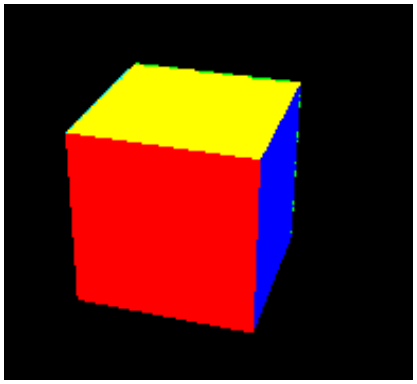
```
static GLubyte mesIndices[] = {1, 4};
glDrawElements(GL_LINES, 2,
  GL_UNSIGNED_BYTE, mesIndices);
```

Exemple d'accès à une liste d'éléments de tableaux :

```
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,devant);
glColor3f(0.0f,1.0f,0.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,derriere
  );
glColor3f(0.0f,0.0f,1.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,droite);

glColor3f(0.0f,1.0f,1.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,gauche);
```

Exemple:

```
static GLubyte devant[] = {0,1,2,3};
static GLubyte deriere[] = {4,5,6,7};
static GLubyte droite[] = {1,5,6,2};
static GLubyte gauche[] = {0,3,7,4};
static GLubyte bas[] = {0,4,5,1};
static GLubyte haut[] = {3,2,6,7};
GLfloat points[] = {
0.0f, 0.0f, 0.0f,
1.0f, 0.0f, 0.0f,
1.0f,1.0f, 0.0f,
 0.0f,1.0f, 0.0f,
0.0f, 0.0f, -1.0f,
1.0f, 0.0f, -1.0f,
1.0f,1.0f, -1.0f,
 0.0f,1.0f, -1.0f,
 } ;
```

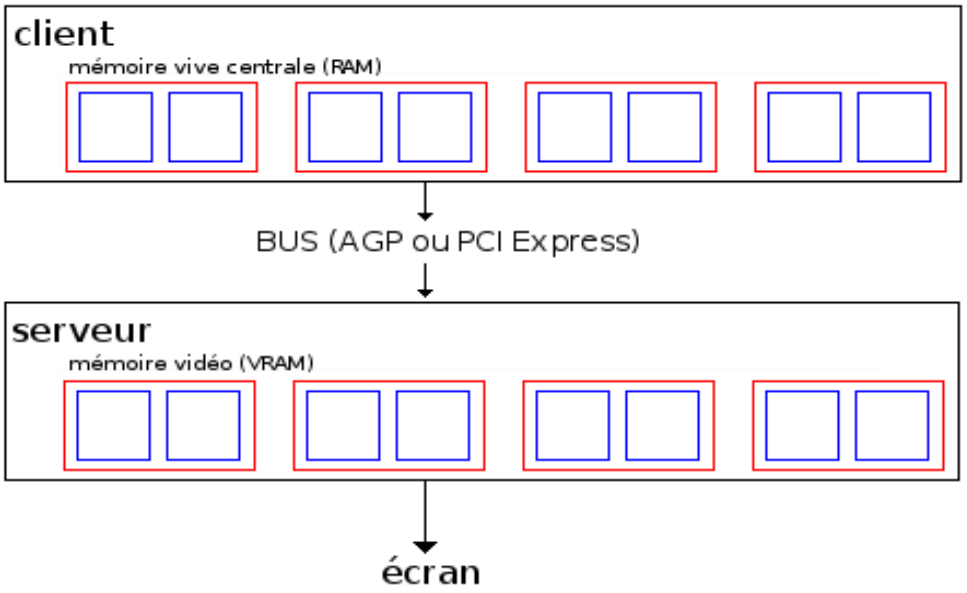


```
glVertexPointer(3,GL_FLOAT,0,points);
glTranslatef(-0.5,-0.5,0.5);
glColor3f(1.1f,0.0f,0.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,devant);
glColor3f(0.0f,1.0f,0.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,deriere);
glColor3f(0.0f,0.0f,1.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,droite);
glColor3f(0.0f,1.0f,1.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,gauche);
glColor3f(1.0f,1.0f,0.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,haut);
glColor3f(1.0f,0.0f,1.0f);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,bas);
```

Tableaux de sommets en mémoire graphique

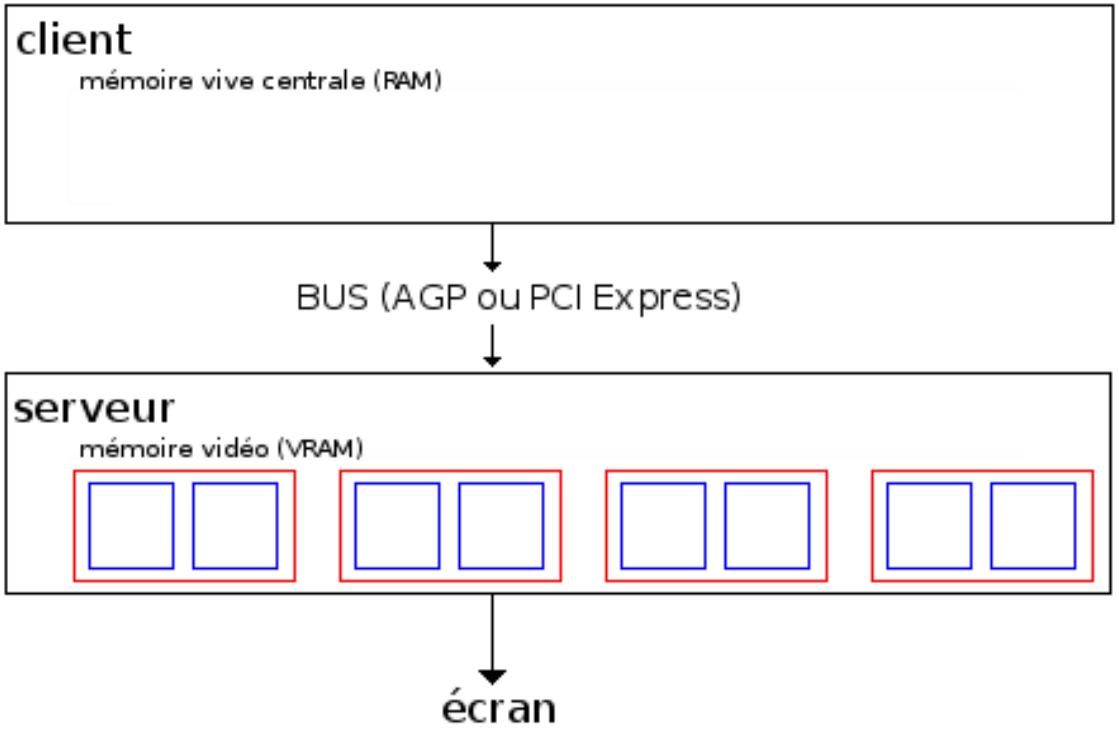
- Résumons le principe des vertex arrays :
  1. activation;
  2. spécification des données;
  3. rendu;
  4. désactivation.
- Lors de la seconde étape, OpenGL ne fait que retenir un pointeur et des informations sur la structuration des données (stride, type et size).
- À la 3eme étape, OpenGL envoie les informations au serveur pour le traitement.

Tableaux de sommets en mémoire graphique



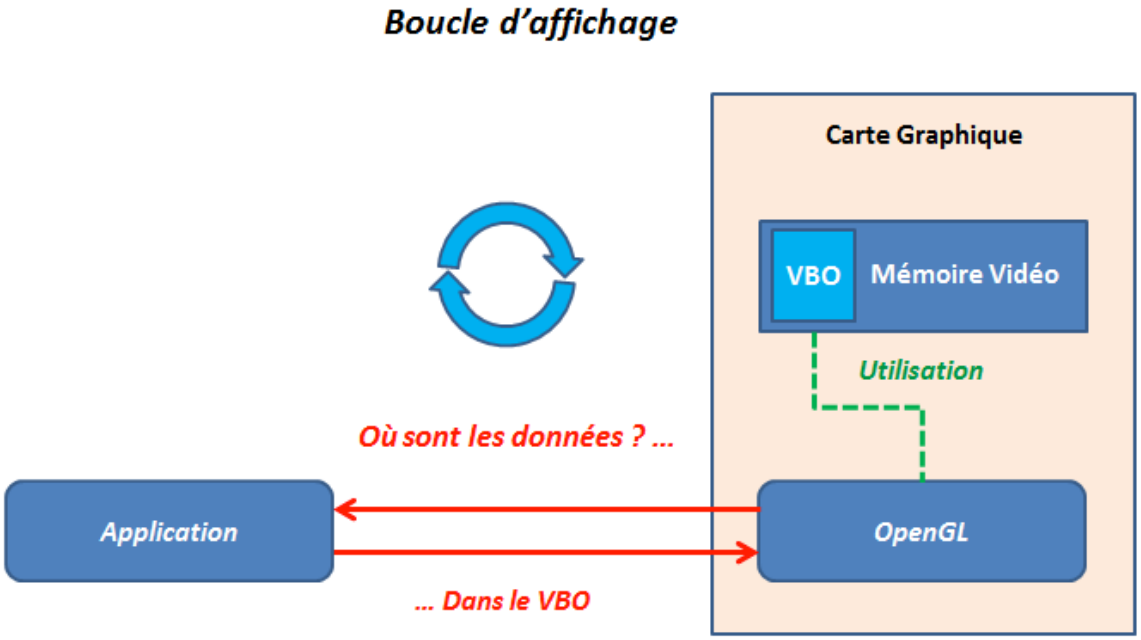
- Les données sont dupliquées en mémoire vidéo, puis sont traitées pour enfin être affichées à l'écran.
- Ce processus a lieu à chaque rendu (glDraw*())
- Le transfert de millions de vertices à chaque rendu mènerait à une saturation de la bande passante, et donc à une limitation de frame rate.

Tableaux de sommets dans les objets tampon



- Les données ne sont ni dupliquées, ni transférées à chaque rendu
- Lors d'un appel à glDraw*(), OpenGL ira directement chercher les données en mémoire vidéo.

Tableaux de sommets dans les objets tampon



- Les données ne sont ni dupliquées, ni transférées à chaque rendu
- Lors d'un appel à glDraw*(), OpenGL ira directement chercher les données en mémoire vidéo.

Sans VBO

Avec VBO

Exploiter les objets tampon

- Un objet tampon est un objet OpenGL, donc un GLuint.
- Voici comment créer des identifiants pour des objets tampon :
- Déclaration:

```
#define VERTICES 0

#define INDICES 1

#define NUM_BUFFERS 2

GLuint buffers[NUM_BUFFERS];
```

- Génération des noms d'objets tampons (ils sont garantis non précédemment utilisé):

```
glGenBuffers(NUM_BUFFERS,buffers);
```

Exploiter les objets tampon

- Pour utiliser l'objet tampon il faut le récupérer et le **lier** (bind) un nom à la machine à état:

```
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER,buffers[VERTICES]);
```

- Liaison spécifique pour les indices

```
glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,buffers[INDICES]);
```

- Prototype:

```
void glBindBuffer(GLenum target, GLuint id);
```

- 0 comme id désactive la gestion des tampons

Exploiter les objets tampon

- Allouer et initialiser des objets tampon avec des données de sommet:

```
void glBufferData(GLenum target, GLsizei size, const GLvoid *data,
   GLenum mode);
```

`target` : Type objet tampon cible (GL_ARRAY_BUFFER ou GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER)

`size` : c'est la taille des données, en Bytes.

`data` : l'emplacement des données(pointeur en mémoire CPU).

`mode` : paramètre qui sert à définir le mode de traitement des données lors de leur mise à jour. Il défini la fréquence d'accès aux données.

GL_STREAM_DRAW: mise à jour entre chaque affichage (équiv. mode classique des vertex arrays.

GL_STATIC_DRAW: mise à jour rare.

GL_DYNAMIC_DRAW:mise à jour plusieurs fois pas frame (rendu multipass)

Exploiter les objets tampon

`GL_STREAM_DRAW/GL_STATIC_DRAW/GL_DYNAMIC_DRAW`

Il existe d'autres modes utiles aux geometry shaders (ou primitive shaders) qui permettent d'instancier des sommets depuis le

GPU.:

`GL_STREAM_READ/GL_STATIC_READ/GL_DYNAMIC_READ`

`GL_STREAM_COPY/GL_STATIC_COPY/GL_DYNAMIC_COPY`

Exploiter les objets tampon

- Allouer et initialiser des objets tampon avec des données de sommet:

```
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER,sizeof(points),points,GL_STATIC_
   DRAW);

glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,sizeof(indice),indice,GL
   _STATIC_DRAW);
```

- avec:

```
static GLfloat points[][3] = {{0.0f, 0.0f, 0.0f},{1.0f, 0.0f,
   0.0f}};

static  GLubyte indice[] = {0,1};
```

Exploiter les objets tampon

- Afficher les données:

```
glVertexPointer(3,GL_FLOAT,0,0);
```

- En fait, à la place de donner un tableau à gl*Pointer(),on donne sa position de stockage dans le tampon

Exploiter les objets tampon

- Afficher les données:

```
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER,buffers[VERTICES]);
glVertexPointer(3,GL_FLOAT,0,0);
glEnableClientState(GL_VERTEX_ARRAY);
glDrawElements(GL_TRIANGLE_STRIP,12,GL_UNSIGNED_BYTE,0);
```

Exploiter les objets tampon en C: init()

```
#define VERTICES 0

#define DEVANT 1

#define DERRIERE 2

#define DROITE 3

#define GAUCHE 4

#define BAS 5

#define HAUT 6

#define COLOR 7

//#define INDICES 8



#define NUM_BUFFERS
9


#define
BUFFER_OFFSET(bytes
) ((GLubyte*) NULL
+ (bytes))
```

```
glGenBuffers(NUM_BUFFERS,buffers); //Création des
identifiants des objets tampons

glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER,buffers[VERTICES]);//
activations du tampon de vertices



glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER,sizeof(points),points,GL_STATIC
_DRAW); // allocation et initialisation des données

glVertexPointer(3,GL_FLOAT,0,BUFFER_OFFSET(0));
//spécification de tableau lié cette fois au tampon

glEnableClientState(GL_VERTEX_ARRAY); //activation de
tableau




//idem pour les couleurs

glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER,buffers[COLOR]);

glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER,sizeof(couleurs),couleurs,GL_ST
ATIC_DRAW);

glColorPointer(3,GL_FLOAT,0,BUFFER_OFFSET(0));

glEnableClientState(GL_COLOR_ARRAY);
```

Exploiter les objets tampon en C: init()

```
#define VERTICES 0

#define DEVANT 1

#define DERRIERE 2

#define DROITE 3

#define GAUCHE 4

#define BAS 5

#define HAUT 6

#define COLOR 7

//#define INDICES 8



#define NUM_BUFFERS
9


#define
BUFFER_OFFSET(bytes
) ((GLubyte*) NULL
+ (bytes))
```

```
//mise en places des tableaux d'indices en tampon

glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,buffers[DEVANT]);

glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,sizeof(devant),devant,GL_STATIC_DR
AW);


glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,buffers[DERRIERE]);

glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,sizeof(derriere),derriere,GL_STATI
C_DRAW);


glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,buffers[DROITE]);

glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,sizeof(droite),droite,GL_STATIC_DR
AW);


glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,buffers[GAUCHE]);

glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,sizeof(gauche),gauche,GL_STATIC_DR
AW);


glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,buffers[BAS]);

glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,sizeof(bas),bas,GL_STATIC_DRAW);


glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,buffers[HAUT]);

glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,sizeof(haut),haut,GL_STATIC_DRAW);
```

Exploiter les objets tampon en C: draw()

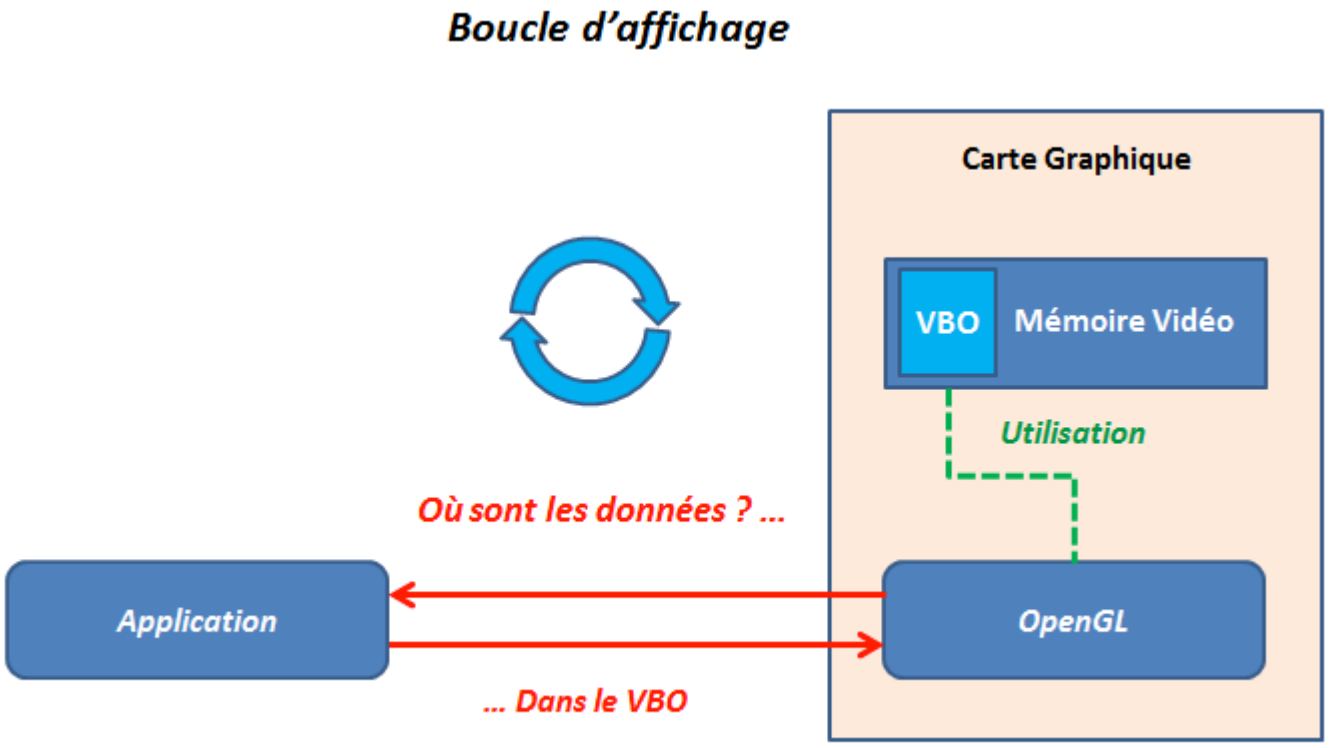
```
#define VERTICES 0
#define DEVANT 1
#define DERRIERE 2
#define DROITE 3
#define GAUCHE 4
#define BAS 5
#define HAUT 6
#define COLOR 7
//#define INDICES 8



#define NUM_BUFFERS 9


#define BUFFER_OFFSET(bytes)
((GLubyte*) NULL + (bytes))
```

```
glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,buffers[DEVANT]);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,BUFFER_OFFSET(0));

glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,buffers[DERRIERE]);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,BUFFER_OFFSET(0));

glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,buffers[DROITE]);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,BUFFER_OFFSET(0));

glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,buffers[GAUCHE]);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,BUFFER_OFFSET(0));

glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,buffers[BAS]);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,BUFFER_OFFSET(0));

glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,buffers[HAUT]);
glDrawElements(GL_QUADS,4,GL_UNSIGNED_BYTE,BUFFER_OFFSET(0));
```

Et les VAO ?

- Idem que VBO mais cette fois pour les appels de fonctions
- Idée : supprimer les derniers appels du CPU

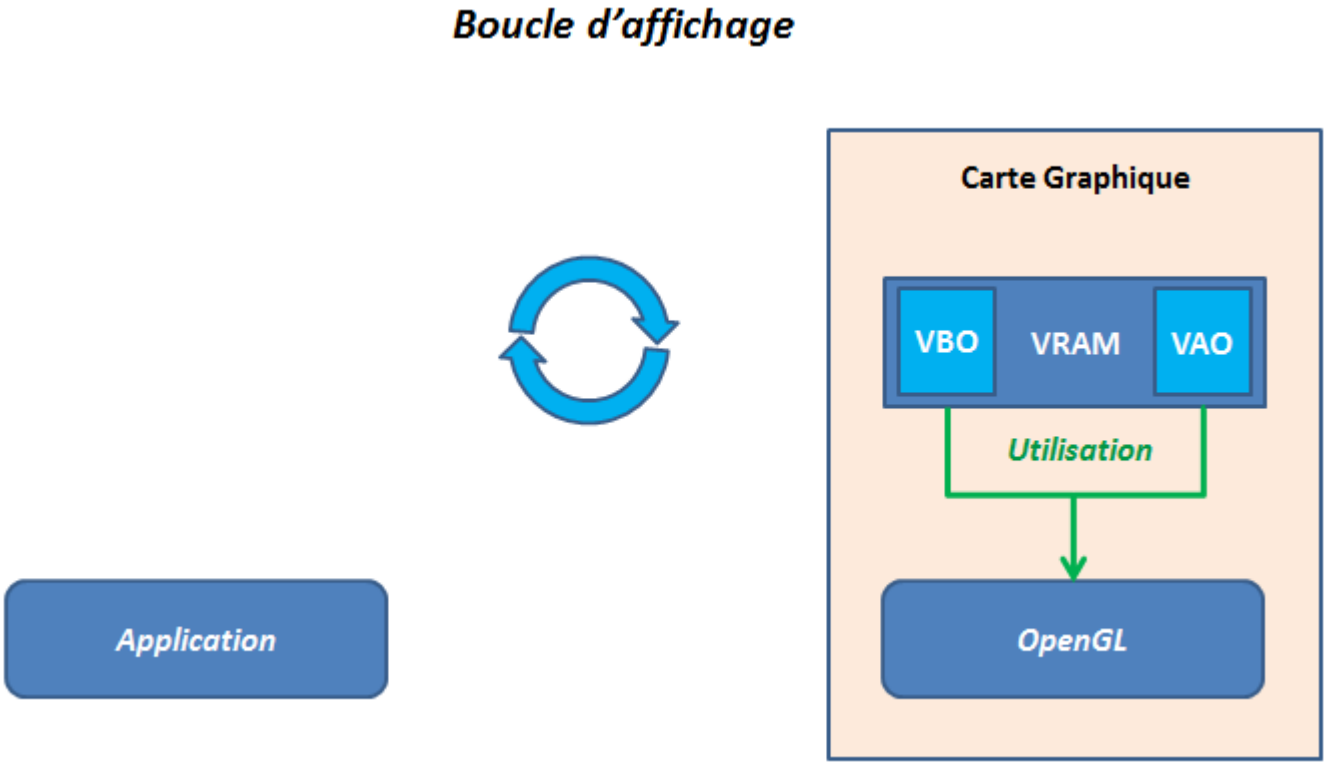
AVEC les VBO Sans les VAO



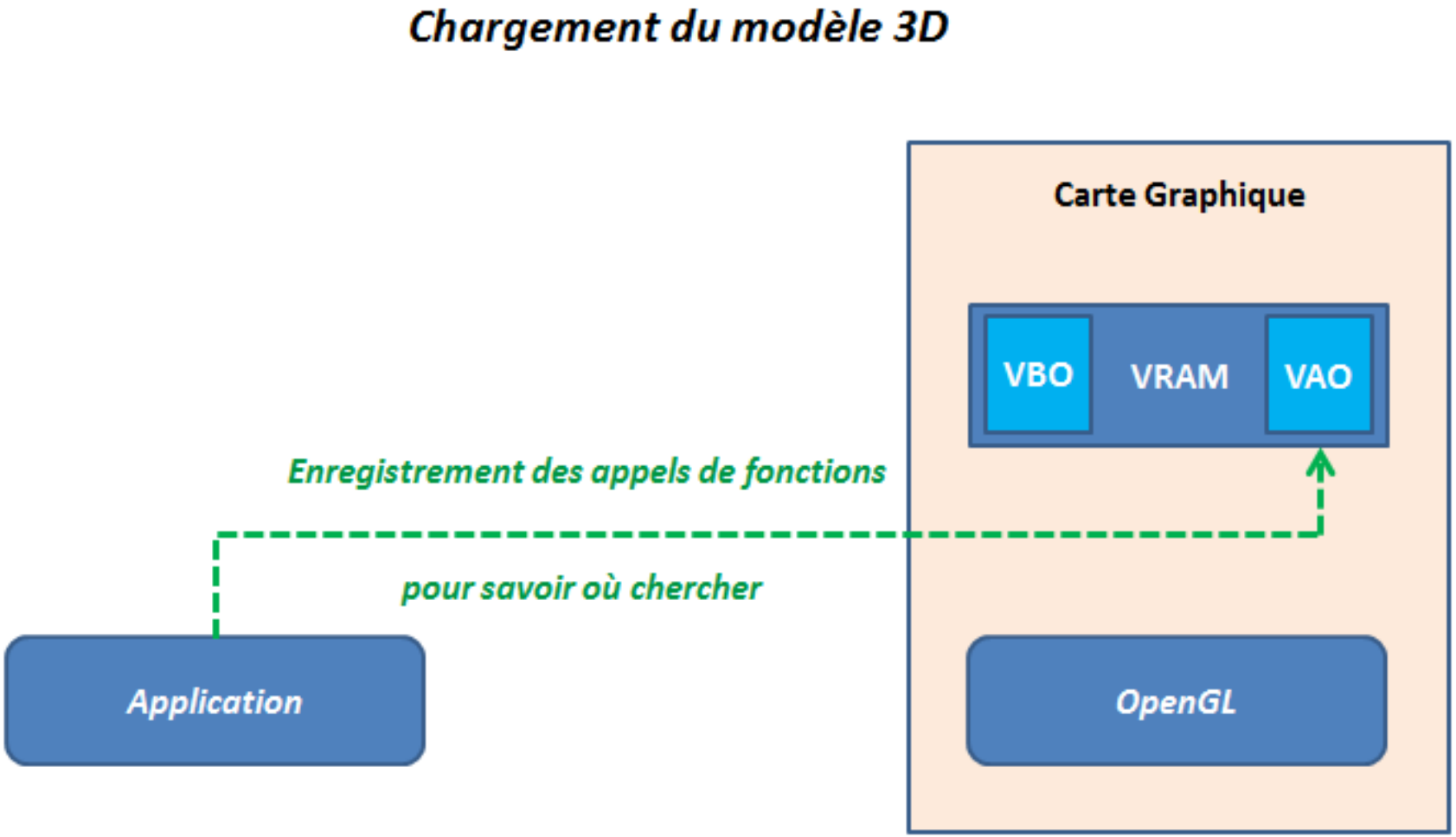
Et les VAO ?

- Idem que VBO mais cette fois pour les appels de fonctions
- Idée : supprimer les derniers appels du CPU

AVEC
les
VBO
ET
les
VAO



Mise en place des VAO ?



Mise en place des VAO ?

- Uniquement dans le cadre des shaders

```
// Génération d'un Vertex Array Object contenant 2 Vertex Buffer
Objects.

    glGenVertexArrays( 1, &vaoids[ 0 ] );
    glBindVertexArray( vaoids[ 0 ] ); //Activation du VAO

    // Génération de 2 VBO.
    glGenBuffers( 2, vboids );

   // VBO contenant les sommets.
    glBindBuffer( GL_ARRAY_BUFFER, vboids[ 0 ] );
    glBufferData( GL_ARRAY_BUFFER, vertices.size() * sizeof( float ),
vertices.data(), GL_STATIC_DRAW );

// VBO contenant les couleurs.
    glBindBuffer( GL_ARRAY_BUFFER, vboids[ 1 ] );
glBufferData( GL_ARRAY_BUFFER, colors.size() * sizeof( float ),
colors.data(), GL_STATIC_DRAW );

// VBO contenant les indices.
glBindBuffer( GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, vboids[ 2 ] );
    glBufferData( GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, indices.size() *
sizeof( unsigned short ), indices.data(), GL_STATIC_DRAW );

  glBindVertexArray( 0 );// Désactivation du VAO.
```

Utilisation des VAO ?

- Uniquement dans le cadre des shaders

```
// Calcul de la matrice mvp.
mvp = proj * view;

// Passage de la matrice mvp au shader (envoi vers la carte graphique).
glUniformMatrix4fv( mvpid , 1, GL_FALSE, &mvp[0][0]);

// Dessin de 1 triangle à partir de 3 indices.
glBindVertexArray( vaoids[ 0 ] );
glDrawElements( GL_TRIANGLES, 3, GL_UNSIGNED_SHORT, 0 );

glutSwapBuffers();
```