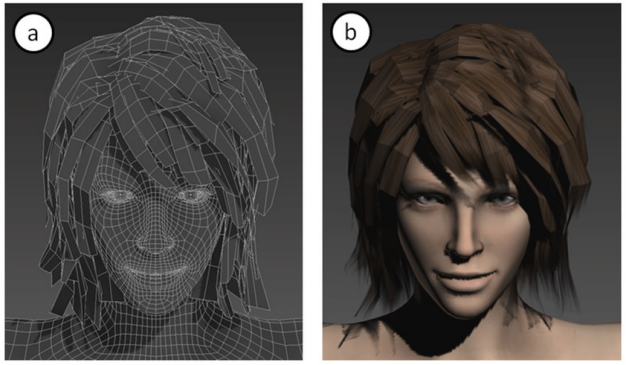
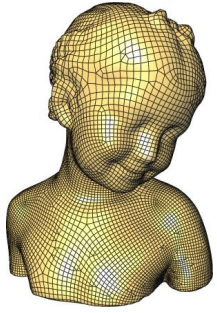
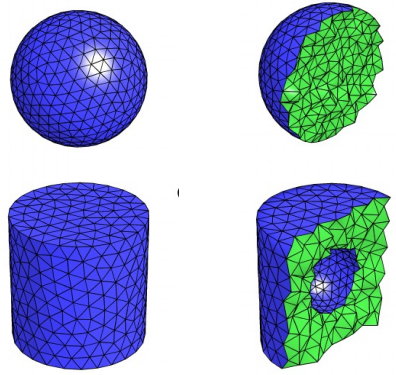
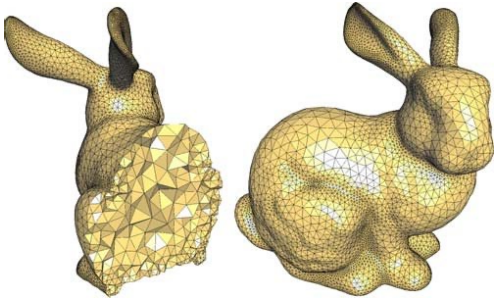
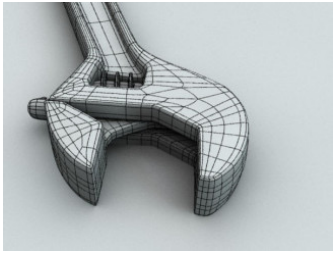
Maillages











Florence Zara (semestre automne)
LIRIS-ORIGAMI, Université Lyon 1

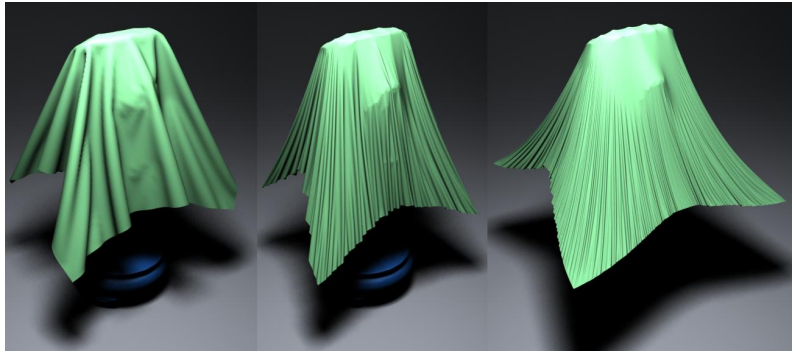
Modèle géométrique d'un objet

Description de la forme de l'objet : propriétés géométriques et topologiques

Modèle surfacique (2D dans l'espace) ou volumique (3D dans l'espace)

Surfaces paramétrées
Subdivisions
Maillages surfaciques
Champs de hauteur

Composition arborescente
Enumération spatiale
Génération par balayage
Surfaces implicites
Maillages volumiques



Modèle choisi en fonction de l'objet à représenter, des calculs à effectuer

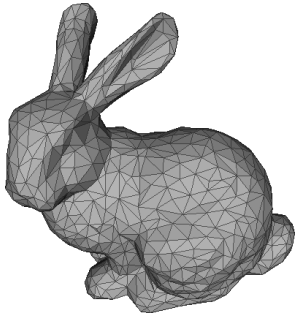
Plan du cours

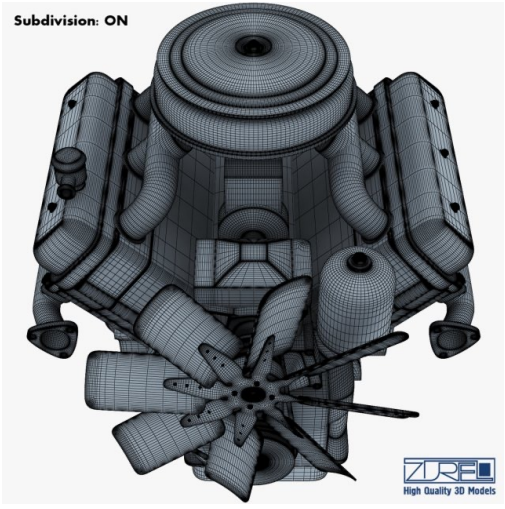
Focus sur la représentation des objets par un **maillage surfacique** ou volumique

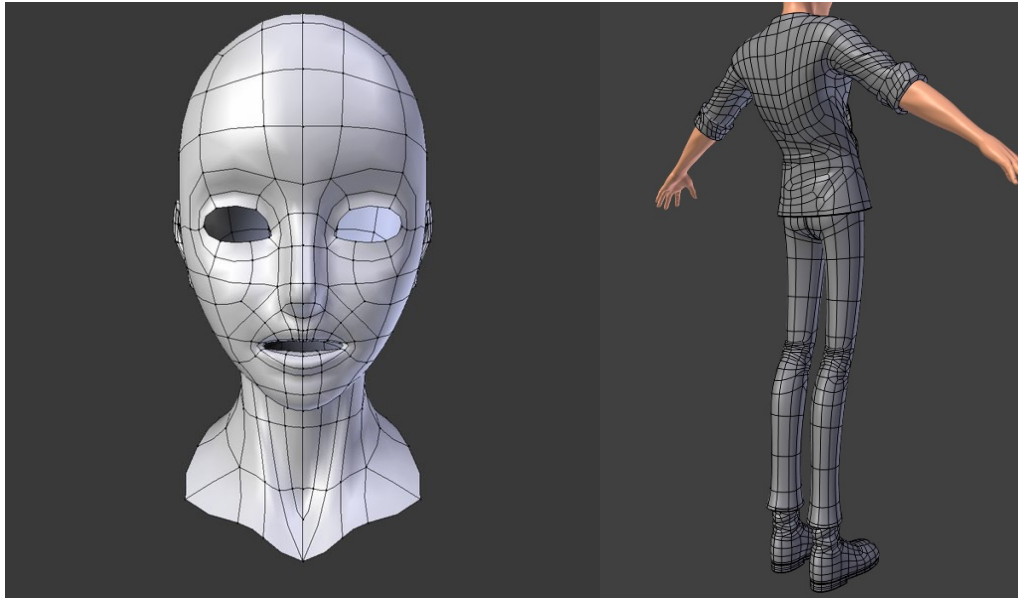
- Rappel sur les polygones (2D)
- Rappel sur les polyèdres (3D)
- Format de fichier employé pour décrire les modèles géométriques
- Création et affichage d'un objet représenté par un maillage

  Implémentation sous gkit (librairie développée par JC Iehl - utilisée en TP)

Maillages polygonaux / maillages surfaciques







Les maillages polygonaux sont la représentation la plus commune

Ils sont constitués de polygones

Rappel - Polygones (2D)

Un polygone (face) Q est défini par une série de points :

$$[p_0, p_1, p_2, \ldots, p_{n-1}, p_n]$$
$$p_i = (x_i, y_i, z_i)$$

Les points doivent être **co-planaires**

3 points définissent un plan

Un 4e point ne sera pas forcement sur ce plan

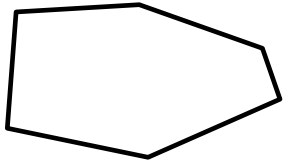
Rappel - Polygone convexe / concave

Convexe

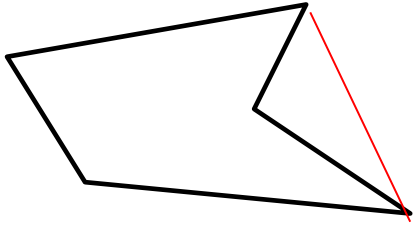
- un polygone est convexe s'il n'est pas croisé et si toutes ses diagonales sont entièrement à l'intérieur de la surface délimitée par le polygone

En Informatique Graphique les polygones convexes sont préférés
voire les triangles sont préférés !!

Conversion facile d'un polygone convexe en triangles, plus difficile pour les concaves



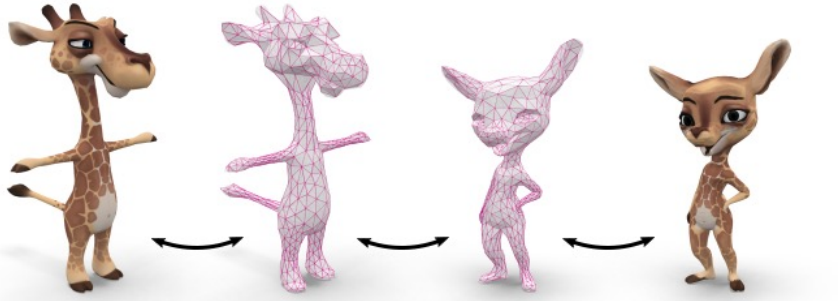
convexe

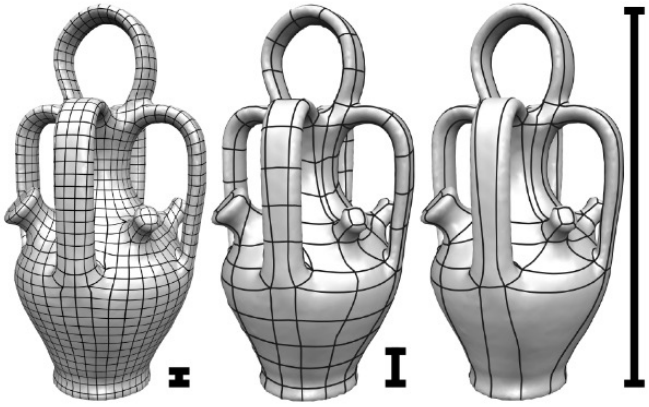


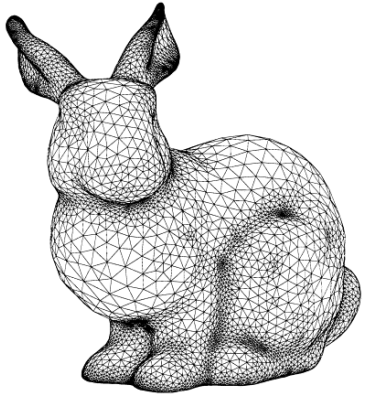
concave

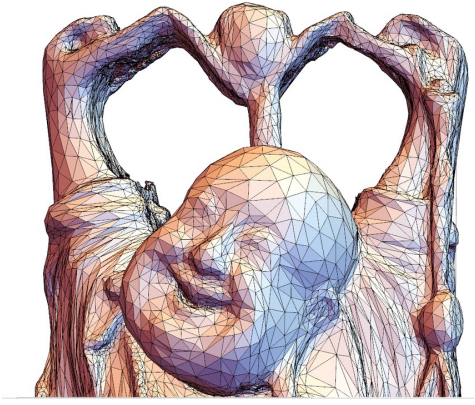
triangulation

Maillages polygonaux - exemples





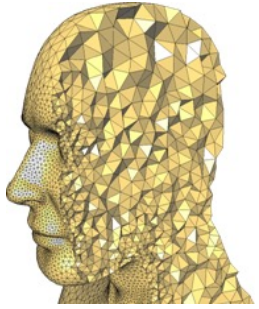


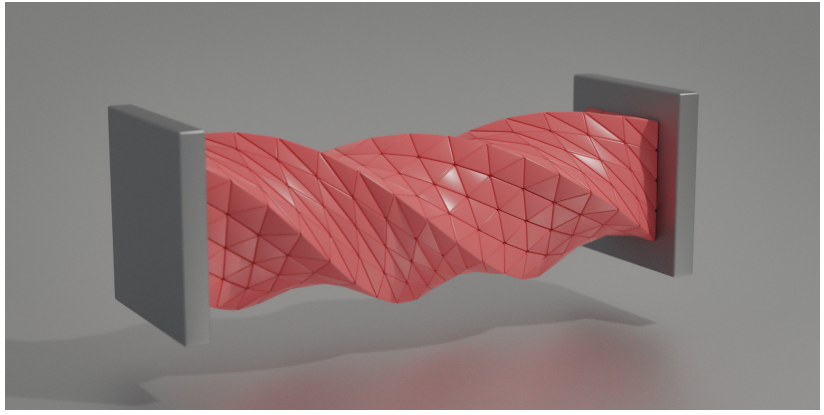


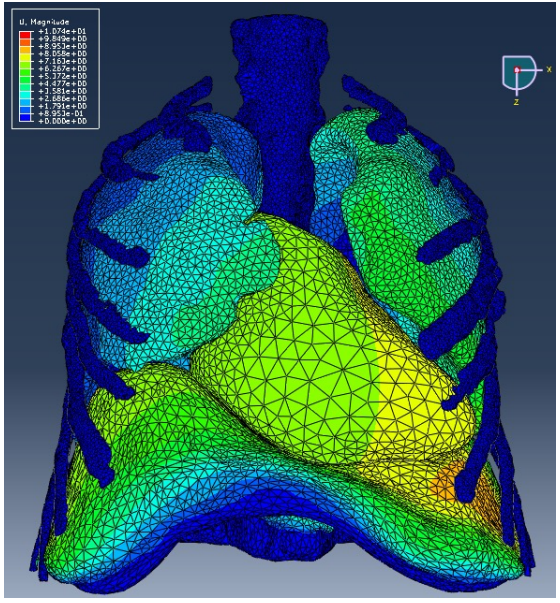
maillage triangulaire

maillage quadrangulaire

Maillages volumiques







Les maillages volumiques sont employés pour les simulations numériques

Ils sont constitués de polyèdres

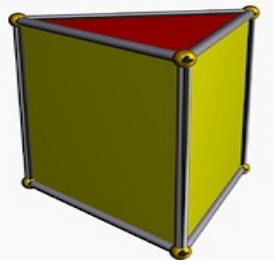
Rappel - Polyèdres (3D)

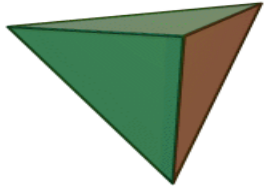
Les polygones sont souvent groupés pour former des polyèdres

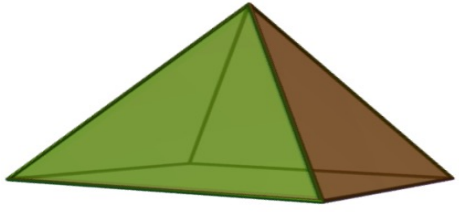
- Une arête joint 2 sommets
- Une arête joint 2 faces / polygones
- Les faces ne s'intersectent pas

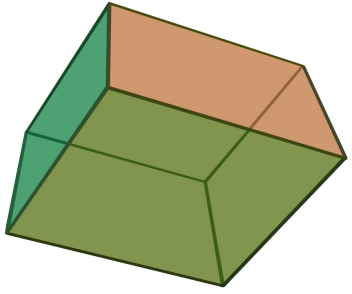
Les polyèdres sont nommés selon leur nombre de faces

- Tétraèdres (4 faces)
- Pentaèdres (5 faces)
  - Pyramide
- Hexaèdres (6 faces)
  - Hexaèdre régulier : cube



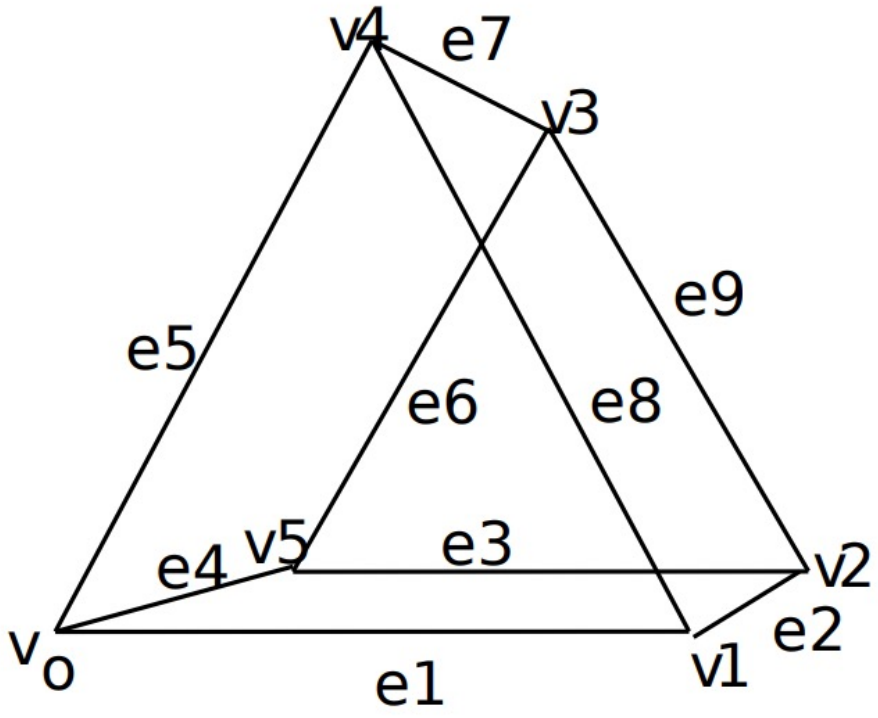






Caractéristique d'Euler

Pour les polyèdres convexes : V-E+F=2 (V= #Vertex, E= #Edge, F= #Face)



- F0 = v0 v1 v4
- F1 = v5 v3 v2
- F2 = v1 v2 v3 v4
- F3 = v0 v4 v3 v5
- F4 = v0 v5 v2 v1

V = 6, F = 5, E = 9

V – E + F = 2 (ok !)

Structure de données pour stocker représentation de l'objet

Première idée :

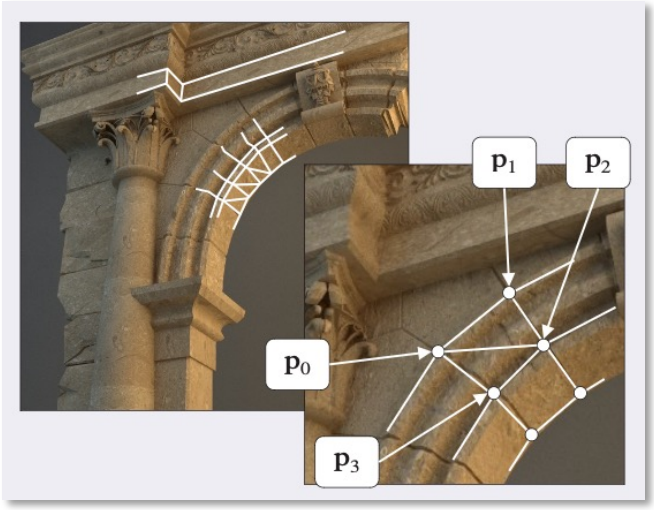
- faces[1] = (x0,y0,z0),(x3,y3,z3),(x2,y2,z2)
- faces[2] = (x1,y1,z1),(x0,y0,z0),(x2,y2,z2)
- etc.

Très coûteux en mémoire

- car chaque sommet apparaît au moins 3 fois !

Si un point bouge,

- un trou apparaît car il n'y a pas de notion de connectivité !



maillage triangulaire

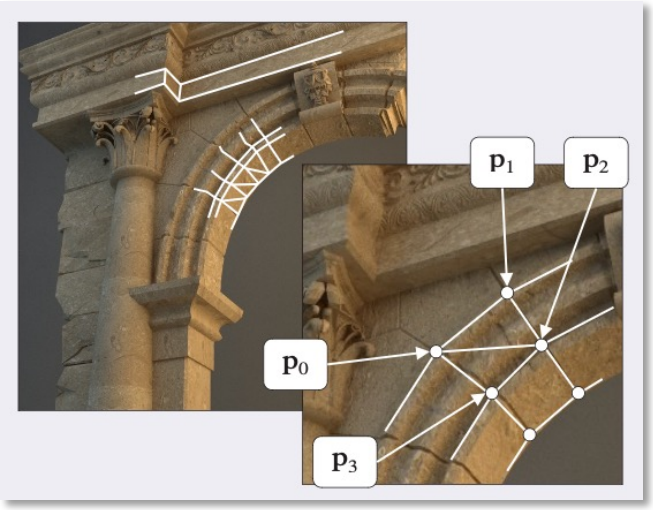
Structure de données pour stocker représentation de l'objet

Tableau de sommets (Vertex array)

- vertices[0] = (x0,y0,z0)
- vertices[1]= (x1,y1,z1)
- etc.

Tableau de faces (liste d'indices dans le tableau de sommets)

- faces[0] = 0,3,2
- faces[1] = 1,0,2
- etc.

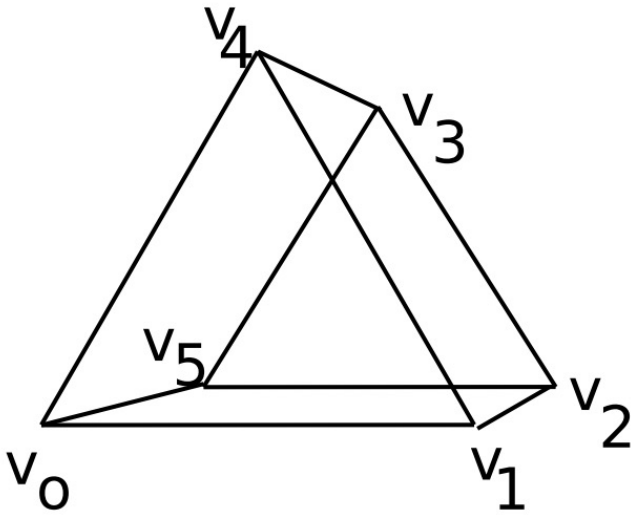


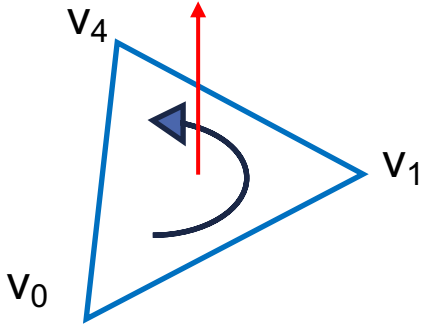
maillage triangulaire

Géométrie : P_0, P_1, P_2, P_3, …
Topologie : (0, 3, 2) ; (1,0,2)

```
class Mesh {
 std::vector<Vector> p; // sommets
 std::vector<int> t;    // indexes
}
```

Ordre des sommets





Attention à l'ordre des sommets

Polygone $v_0,v_1,v_4 \neq v_0, v_4, v_1$

Le vecteur normal pointe dans des directions opposées

$$\mathbf{v_0v_1} \times \mathbf{v_0v_4} = - \mathbf{v_0v_4} \times \mathbf{v_0v_1}$$

Habituellement un polygone n'est visible que depuis les points de son demi-espace positif

Back-face culling (si le point de vue n'est pas devant le polygone, on ne l'affiche pas)

Format de fichier OBJ (AliasWavefront)

Fichiers OBJ sont au format ASCII

Commentaire jusqu'à la fin de la ligne

v ***float float float***

Vertex (sommet). Le 1er vertex a pour numéro 1

vn ***float float float***

Vecteur normal. La 1ere normale a pour numéro 1

vt ***float float***

Coordonnée texture. La 1ere coordonnée a pour numéro 1

f ***int int int*** ...

f ***int/int int/int int/int*** ...

f ***int/int/int int/int/int int/int/int*** ...

Face. Les numéros correspondent respectivement au indice de Vertex/CoordTexture/VecteurNormal

Format OBJ : exemple (cube)

```
# Ceci est un cube
# 8 sommets
v 1 1 1
v 1 1 -1
v 1 -1 1
v 1 -1 -1
v -1 1 1
v -1 1 -1
v -1 -1 1
v -1 -1 -1
# 6 faces
f 1 3 4 2
f 5 7 8 6
f 1 5 6 2
f 3 7 8 4
f 1 5 7 3
f 2 6 8 4
```

Pour la description d'une face des champs peuvent éventuellement être vides

Par exemple :

f 1//7 2/3/5 3// 4/6/8

Format OBJ :

- Format efficace, simple à gérer et standard
- Trouve facilement des fichiers sur Internet

Autre format : VRML (fichier.WRL)

VRML = Virtual Reality Modeling Language
Également, listes de sommets et de polygones

```
Coordinate3 {
        point       [       -2.250000 3.110000 -
0.350000,
                            -2.170000 3.070000 -
0.520000,
                            ...
                    ]
}
IndexedFaceSet {
        coordIndex [        0, 1, 2, 2, -1,
                            3, 2, 4, 4, -1,
                            ...
                     ]
}
```

Création d'une scène 3D

Objectifs du TP de LIFGraphique : créer des objets 3D et les visualiser à l'écran

Pour faciliter le code, nous utiliserons la librairie gkit qui utilise l'API OpenGL

Pour créer un objet, il faut savoir :

- définir son maillage qui est composé de primitives de bases
- définir les transformations géométriques appliquées au maillage
- demander l'affichage de l'objet dans la scène

ce qui va créer l'image selon positionnement caméra, etc.
par l'utilisation du pipeline graphique

Une base de code vous sera fournie : il faudra la compléter !

Utilisation de gkit pour écrire une application OpenGL

Une application gkit-OpenGL est composée de plusieurs éléments :

- une fenêtre pour voir ce qui est dessiné
- un contexte OpenGL pour dessiner
- 4 fonctions appelées dans le main() :
  - **init( )** pour créer les objets OpenGL – **création des maillages des objets**
  - **render()** pour afficher les objets créés – **affichage des maillages des objets pour les voir !**
  - **update()** pour mettre à jour les objets OpenGL – **modification des maillages initiaux des objets**
  - **quit( )** pour détruire les objets OpenGL à la fermeture de l'application

Code gkit - class Viewer (définit dans fichier Viewer.h)

```
class Viewer : public App
{
public:
    Viewer();     // Constructeur de la class

    int init();   // Initialise tout

    int render(); // Fonction d'affichage

    // Mise à jour de la scène au cours du temps
    int update(const float time, const float delta );

    int quit();    // Libère tout
```

```
Protected:

// Déclaration de la camera
Orbiter m_camera;

// Déclaration du contexte OpenGL
 DrawParam gl;

// Gestion de la camera + lumière
 void manageCameraLight();
```

Code gkit - class ViewerEtudiant (définit dans fichier ViewerEtudiant.h)

```
class ViewerEtudiant : public Viewer // classe pour le code du TP
{
     public:
          ViewerEtudiant();    // Constructeur

          int init();     // Pour créer vos objets - appelée qu'une seule fois
          int render();   // Pour afficher vos objets – appelée en continue
          int update(…); // Pour mettre à jour vos objets – appelée en continue

      protected:
      ...
      };
```

Le code du TP sera fait dans les fichiers ViewerEtudiant.h et ViewerEtudiant.cpp

Sujet du TP – Création d'objets

Première étape : création de formes de base (cône, cylindre, sphère, cube)

1. **Création** du maillage représentant une forme de base
2. **Affichage** du maillage représentant une forme de base
   - Le maillage peut subir des **transformations géométriques** au préalable
     - Changement d'échelle (agrandir/diminuer la taille de l'objet)
     - Rotation (faire tourner l'objet)
     - Translation (positionner l'objet dans la scène)

Cela permettra d'afficher un objet à plusieurs endroits différents ou de modifier son apparence

Le maillage n'est fait (et stocker) qu'une seule fois !!

Création d'un objet - Fichier Viewer_etudiant.h

Pour créer un nouvel objet, vous devez :

1. Déclarer dans `class ViewerEtudiant` :

- la variable de type **Mesh** relatif à l'objet

- la **texture** de l'objet si besoin
  (*cf.* CM texture)

- une fonction **init_Objet()**

```
class ViewerEtudiant : public Viewer
{ ...
// Déclaration d une variable de type Mesh
représentant l objet que nous souhaitons créer
   Mesh m_Objet;

// Déclaration de la texture de l'objet
   GLuint m_Objet_texture;

// Déclaration de la fonction de création du
Mesh de l objet
   void init_Objet();
};
```

Code gkit - Fichier Viewer_etudiant.cpp

Pour créer un nouvel objet, vous devez :

2 – Définir la fonction qui créera le **Mesh** de l'objet (fonction écrite dans Viewer_etudiant.cpp)

```
// Définition de la fonction créant le maillage
void ViewerEtudiant::init_Objet(){
        m_Objet = Mesh(GL_TRIANGLE_STRIP); // Primitive OpenGL

        m_Objet.normal( 0, 0, 1 ); // Normale au sommet 0
        m_Objet.vertex( 0, 0, 0 ); // Création du sommet 0

        m_Objet.normal( 0, 0, 1 ); // Normale au sommet 1
        m_Objet.vertex( 0, 1, 0 ); // Création du sommet 1
}
```

On va expliquer le code après

Code gkit - Fichier Viewer_etudiant.cpp

Pour créer un nouvel objet, vous devez :

3. **Appeler** la fonction **init_Objet()** dans la fonction **ViewerEtudiant::init()**

```
// Creation des Mesh des objets
int ViewerEtudiant::init(){
    …
    init_Objet();
}
```

Fonction `init()` appelée **une** seule fois

1. **Création** du maillage représentant une forme de base : OK !

Code gkit - Fichier Viewer_etudiant.cpp

2 . Pour voir l'objet, il faut effectuer l'affichage du maillage représentant l'objet

Ajouter dans la fonction **ViewerEtudiant::render()** les appels pour l'affichage de votre objet

```
int ViewerEtudiant::render(){// Affichage de la scène
  // Texture
  gl.texture(m_Objet_texture); //(cf. CM texture)

  // Transformation géométrique
  gl.model(Translation( -3, 5, 0 ));

  // Affichage du Mesh de l objet
  gl.draw(m_Objet);
}
```

Fonction `render()` appelée **en continue** pour rafraîchir l'écran

Affichage est effectué en suivant le pipeline graphique vu au cours de rendu

Création d'un objet sous gkit

Il faut donc comprendre comment on crée un maillage sous gkit pour représenter un objet
pour savoir écrire le code de la fonction **`init_Objet()`**

```
// Définition de la fonction créant le maillage
void ViewerEtudiant::init_Objet(){
        m_Objet = Mesh(GL_TRIANGLE_STRIP); // Primitive OpenGL

        m_Objet.normal( 0, 0, 1 ); // Normale au sommet 0
        m_Objet.vertex( 0, 0, 0 ); // Création du sommet 0

        m_Objet.normal( 0, 0, 1 ); // Normale au sommet 1
        m_Objet.vertex( 0, 1, 0 ); // Création du sommet 1
}
```

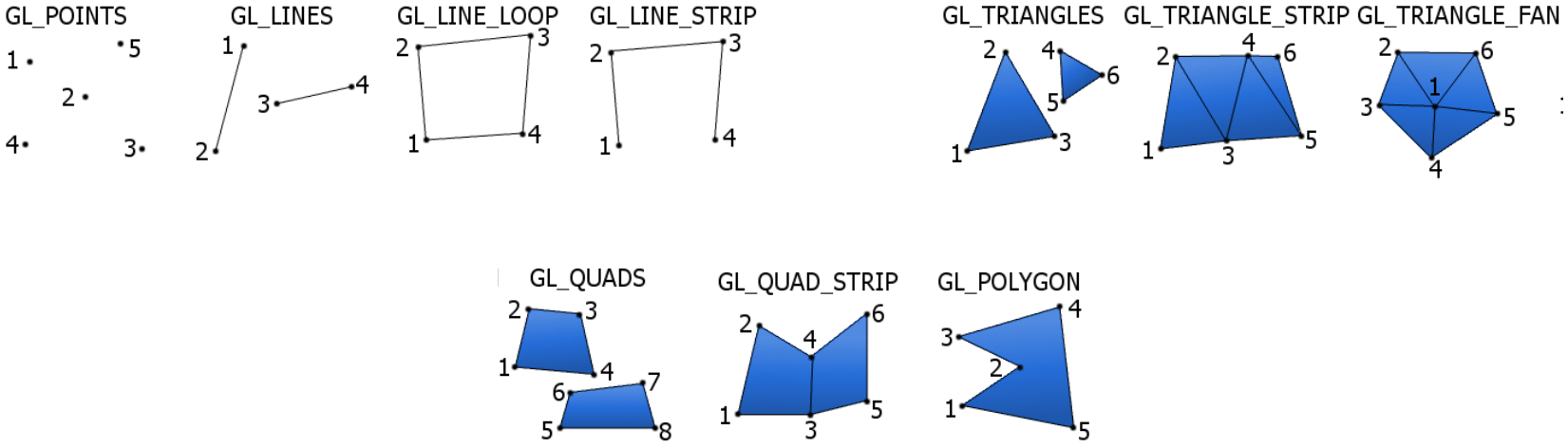
Création d'un objet - il faut définir son maillage

Chaque objet est composé d'éléments basiques appelés primitives :

points, sommets, faces, éléments volumiques, etc.

Pour créer un objet, on indique ses primitives (puis coordonnées des sommets, etc.)

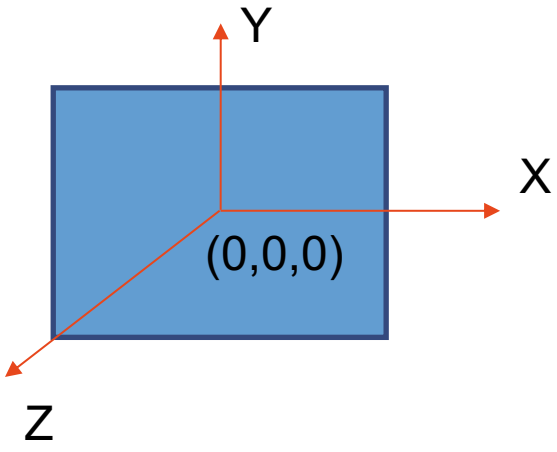
Primitives possibles dans gkit-OpenGL :



Création d'un objet - il faut définir son maillage

Premier exemple : définir le maillage d'un carré

On souhaite créer un carré centré en (0,0,0) et de côté 2



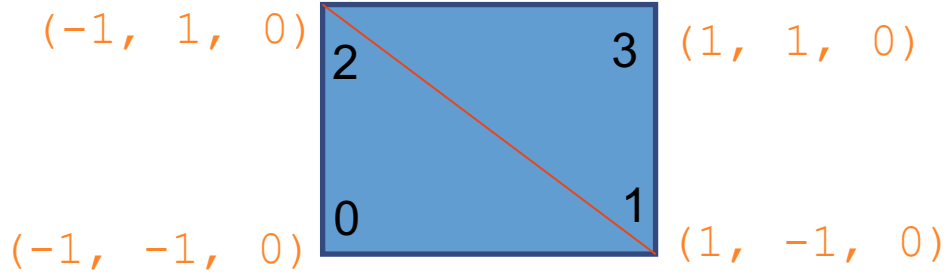
Création d'un objet - il faut définir son maillage

1. Choix de la primitive de base du maillage : triangle (carré = 2 triangles)

2. Définition de la normale au carré : **N** = (0, 1, 0)
   La même normale pour les 4 sommets

3. Définition des sommets du maillage : coordonnées des 4 sommets

4. Relier les sommets ensemble pour constituer les triangles du carré



Création d'un objet – code gkit d'un carré

Code dans le fichier Viewer_etudiant.h

```
class ViewerEtudiant : public Viewer
{
public:
    ViewerEtudiant();

    int init();
    int render();
    int update( const float time, const float delta );

protected:
   Mesh m_quad;     // Déclaration d'une variable de type Mesh représentant le carré
   void init_quad(); // Déclaration de la fct créant le maillage (Mesh)
 };
```

Création d'un objet – code gkit d'un carré

Code dans le fichier Viewer_etudiant.cpp

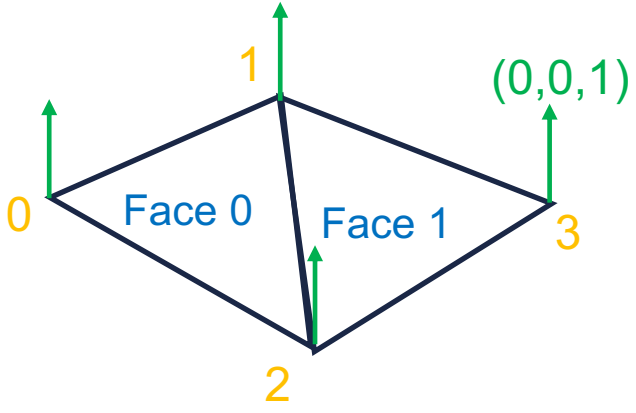
```
// Premier exemple : définir le maillage d'un carré
void init_quad() // Définition de la fonction créant le maillage (Mesh) du carré
{
    m_quad = Mesh(GL_TRIANGLE_STRIP); // Choix primitive OpenGL pour le maillage

    m_quad.normal( 0, 0, 1 );                // Définition de la normale à la face

    m_quad.vertex( -1, -1, 0 );              // Création du sommet 0
    m_quad.vertex( 1, -1, 0 );               // Création du sommet 1
    m_quad.vertex( -1, 1, 0 );               // Création du sommet 2
    m_quad.vertex( 1,  1, 0);                // Création du sommet 3
}
```

Attention à l'ordre :
1. Définition des coordonnées de la normale
2. Définition des coordonnées du sommet

Création d'un objet – code gkit d'un carré

```
void init_quad() {
    m_quad = Mesh(GL_TRIANGLE_STRIP);
    m_quad.normal( 0, 0, 1 );          // Définition de la normale à la face
    m_quad.vertex(-1, -1, 0);          // Création du sommet 0
    m_quad.vertex(1, -1, 0);           // Création du sommet 1
    m_quad.vertex(-1, 1, 0);           // Création du sommet 2
    m_quad.vertex(1, 1, 0);            // Création du sommet 3
}
```

Attention à l'ordre des sommets !



Cela va créer le maillage du carré :

- Stocker les coordonnées des normales aux sommets
- Stocker les coordonnées des sommets
- Stocker les faces (définies par 3 indices de sommets)

Le code crée deux faces par les `GL_TRIANGLE_STRIP` :

Face 0 = Triangle 0 = 0, 2, 1

Face 1 = Triangle 1 = 2, 1, 3

Code gkit - Fichier Viewer_etudiant.cpp

Pour mettre à jour le **Mesh** de votre objet, vous pouvez préciser les changements dans la fonction **ViewerEtudiant::update()**

```
int ViewerEtudiant::update(const float time, const float delta)
{
    // Changements que vous souhaitez faire sur le Mesh :

    // Changement des coordonnées de texture d'un sommet
    // (cf. CM texture)
    m_Objet.texcoord(numero-du-vertex, new-u, new-v);

    // Changement des coordonnées (x,y,z) d'un sommet
    m_Objet.vertex(numero-du-vertex, new-x, new-y, new-z);
}
```

Code gkit – Création d'objets

Pour créer le maillage, on peut aussi tout simplement charger un fichier OBJ décrivant la géométrie de l'objet :

```
// Création du Mesh (dans la fonction init())
Mesh m_objet = read_mesh( /* filename */ "..." );


// Affichage du Mesh de l objet (dans la fonction render())
  gl.draw(m_Objet);
```

Code gkit – Création d'objets

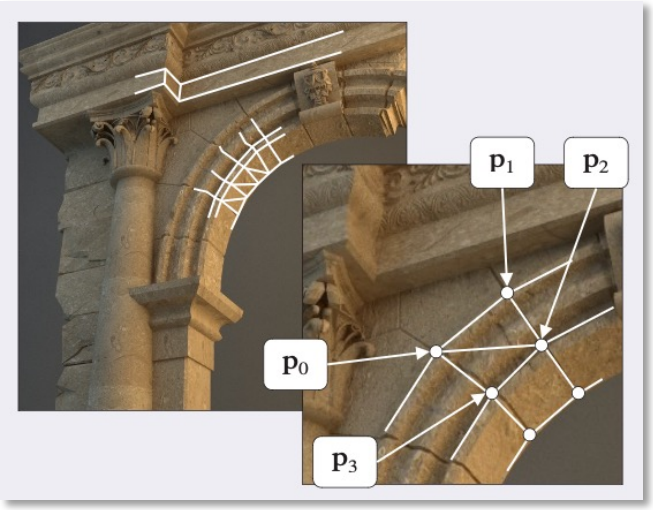
Au final, deux méthodes pour créer maillage :

- A la main en utilisant les méthodes `.vertex(x,y,z)`, etc.
- En chargeant un fichier OBJ

Dans les deux cas, cela remplit les structures de données :

- Tableau des coordonnées des normales aux sommets
- Tableau des coordonnées des sommets
- Tableau des faces contenant indices des sommets

```
class Mesh {
 std::vector<Vector> p; // sommets
 std::vector<int> t;    // indexes
 std::vector<Vector> n; // normales
}
```



maillage triangulaire

Étapes pour la création d'objets

Création de formes de base (cône, cylindre, sphère, cube)

1. **Création** du maillage représentant une forme de base
2. **Affichage** du maillage représentant une forme de base

Le maillage peut subir des **transformations géométriques** au préalable

- Changement d'échelle (agrandir/diminuer la taille de l'objet)
- Rotation autour d'un axe (faire tourner l'objet)
- Translation (pour positionner l'objet dans la scène)

Applique une transformation géométrique sur le Mesh **avant** son affichage

Rappel : transformations géométriques obtenues en multipliant les points par matrice de transformation correspondante

Transformations – code gkit

Transformations géométriques déjà définies dans gkit : type Transform (matrice 4 x 4)

Rotation :

- Rotation(Vector(x,y,z), angle-degres);
- RotationX(angle-degres);
- RotationY(angle-degres);
- RotationZ(angle-degres);

Changement d'échelle :

- Scale(Sx,Sy,Sz);

Translation :

- Translation(x, y, z);

Transformations – code gkit

Changement d'échelle : Scale(Sx,Sy,Sz);

```
Transform Scale (const float x, const float y, const float z)
{
        return Transform(
                        x, 0, 0, 0,
                        0, y, 0, 0,
                        0, 0, z, 0,
                        0, 0, 0, 1);
}
```

Matrice 4 x 4 correspondant au changement d'échelle

Transformations – code gkit

Transformations appliquées avant l'affichage des Mesh dans render()

```
ViewerEtudiant::render()
{
        // Definition de la transformation géométrique
        Transform T = Scale(100,100,100);

        // Applique la transformation au contexte OpenGL
       gl.model(T);

        // Affiche le Mesh de l'objet ayant subi la transformation
       gl.draw(m_Objet);
}
```

Transformations – code gkit

Nous pouvons appliquer plusieurs transformations géométriques :

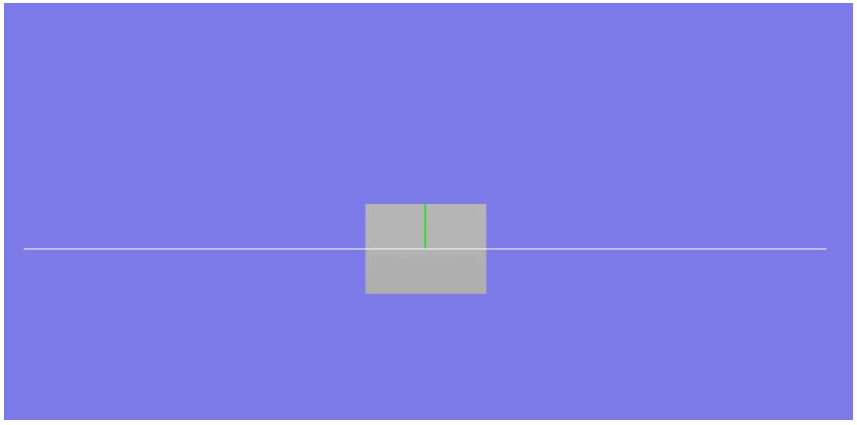
```
Transform T = Translation( -32, 0, -32 )
                * Rotation( Vector(1,0,0), 45)
                * Scale(64.f/192, 0.3f, 64.f/192);

gl.model(T);
gl.draw(m_Objet);
```

Dans cet exemple, on fait dans l'ordre :

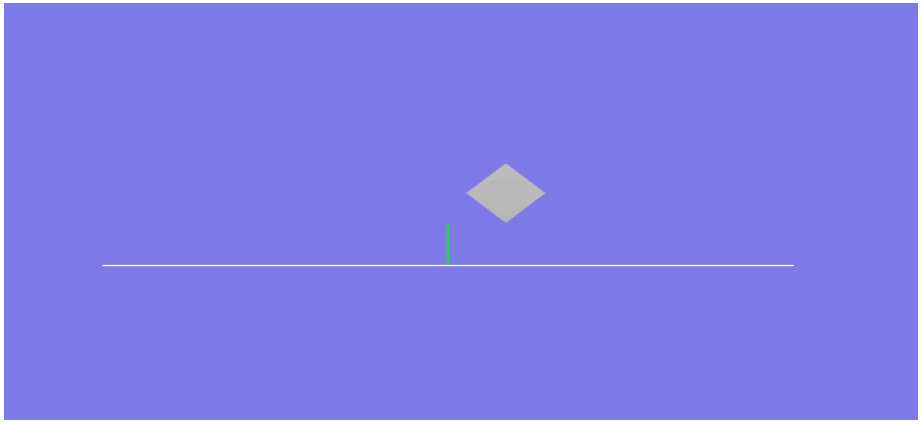
1. Changement d'échelle
2. Rotation
3. Translation

Mais attention à l'ordre des transformations !
(issu du fait que multiplication de matrices non commutative : M1M2 ≠ M2M1)

Combinaison de transformations



Initialement : quad centré en (0, 0, 0) de taille 2 x 2
Le coin en bas à gauche, se situe en (-1, -1, 0)



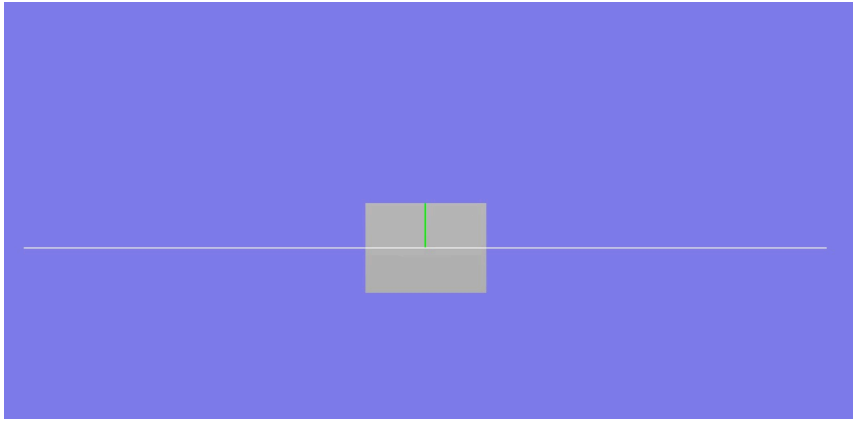
On souhaite : quad de taille 1 x 1 avec le coin en bas à gauche en (1, 1, 0) et une rotation de 45°

On va faire cela en plusieurs étapes

Combinaison de transformations

Étape 0 - Affichage du quad initial

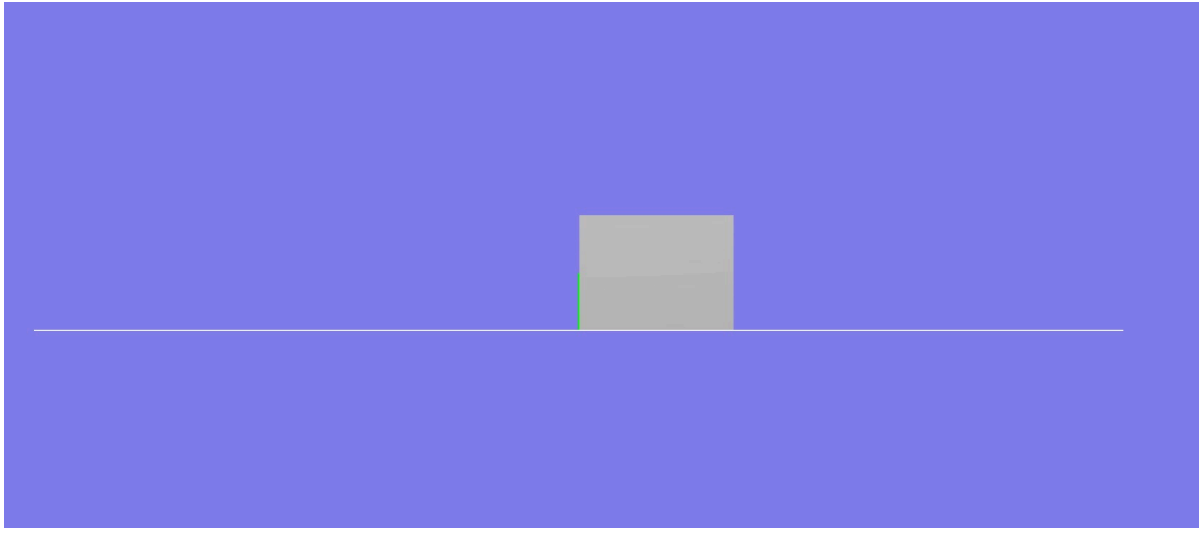
```
gl.model(Identity());
gl.draw(m_quad);
```



Combinaison de transformations

Étape 1 : translation pour mettre le coin en bas à gauche à l'origine (0, 0, 0)

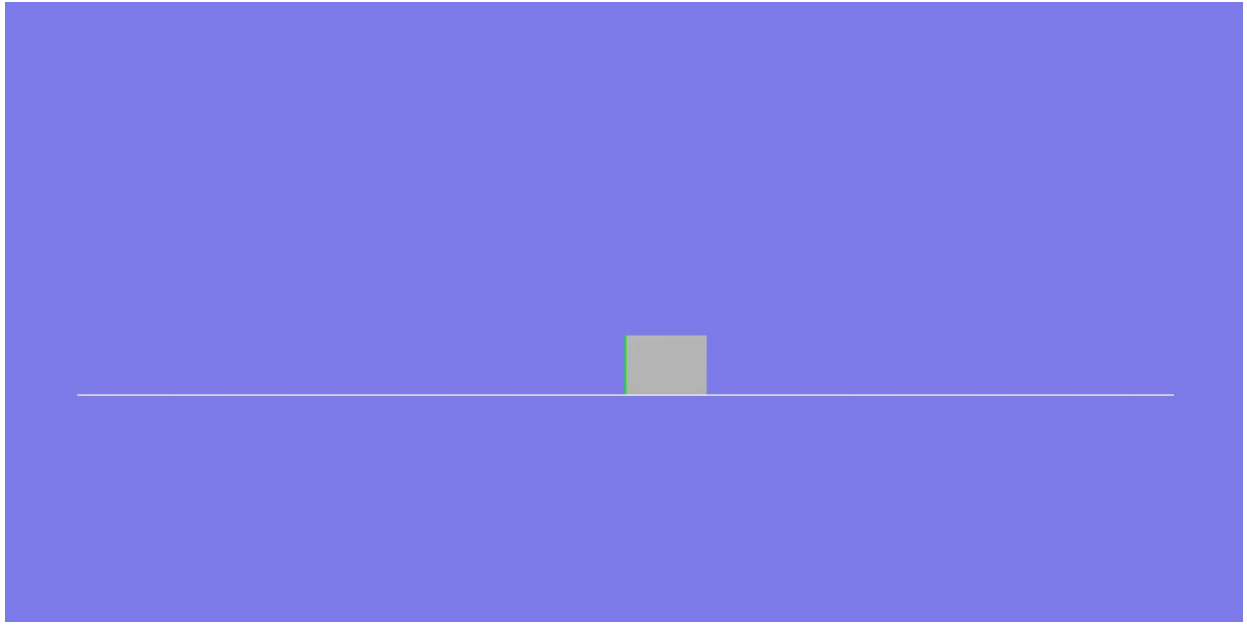
```
gl.model(Translation(1, 1, 0));
gl.draw(m_quad);
```



Combinaison de transformations

Étape 2 : on ajoute le changement d'échelle de facteur 1/2

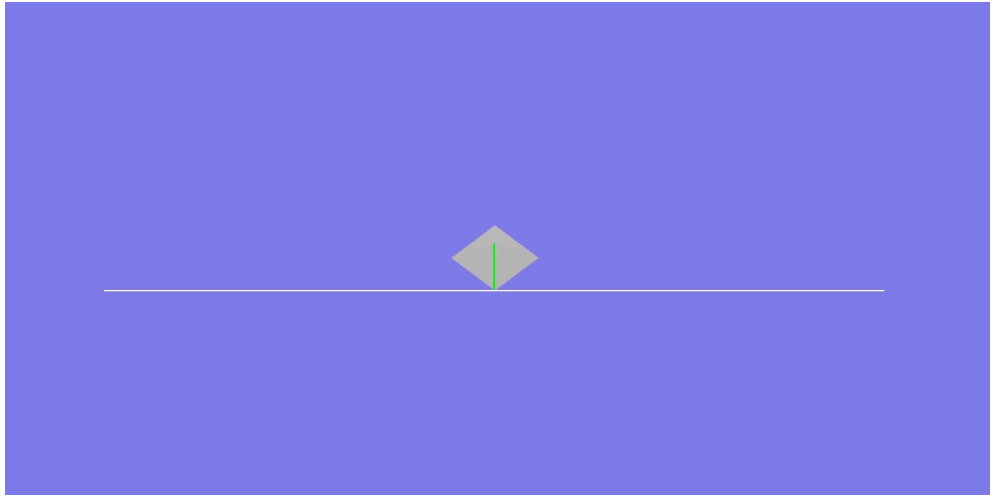
```
gl.model(Scale(0.5, 0.5, 0.5) * Translation(1, 1, 0) );
gl.draw(m_quad);
```



Combinaison de transformations

Étape 3 : on ajoute la rotation de 45 degrés autour des Z

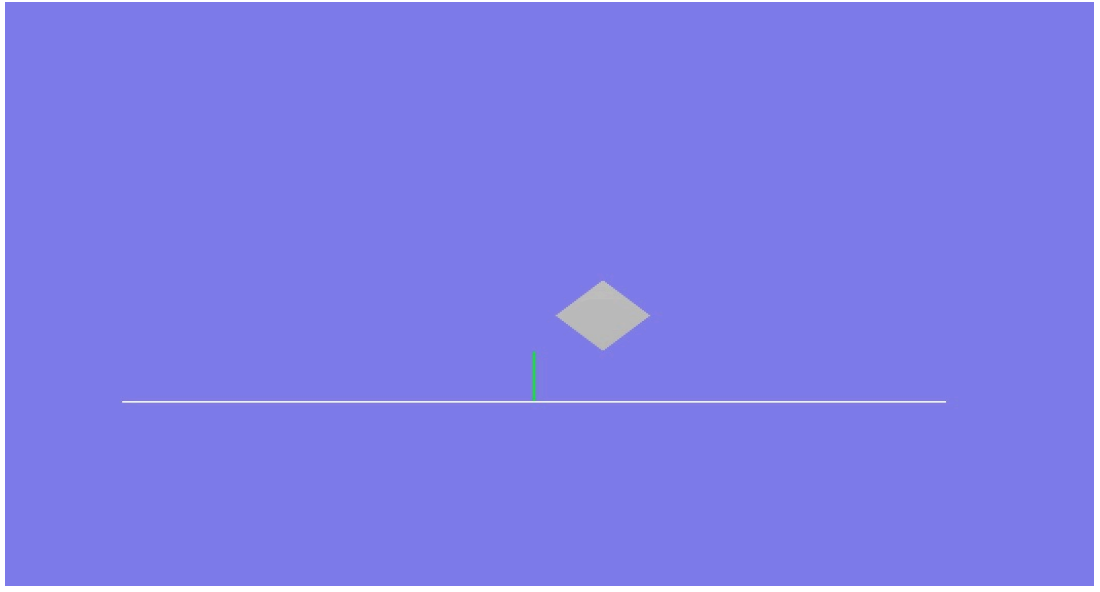
```
gl.model(RotationZ(45)
      * Scale(0.5, 0.5, 0.5)
      * Translation(1, 1, 0) );

gl.draw(m_quad);
```



Combinaison de transformations

Étape 4 : on ajoute la translation pour positionner le coin en bas à gauche en (1,1,0)

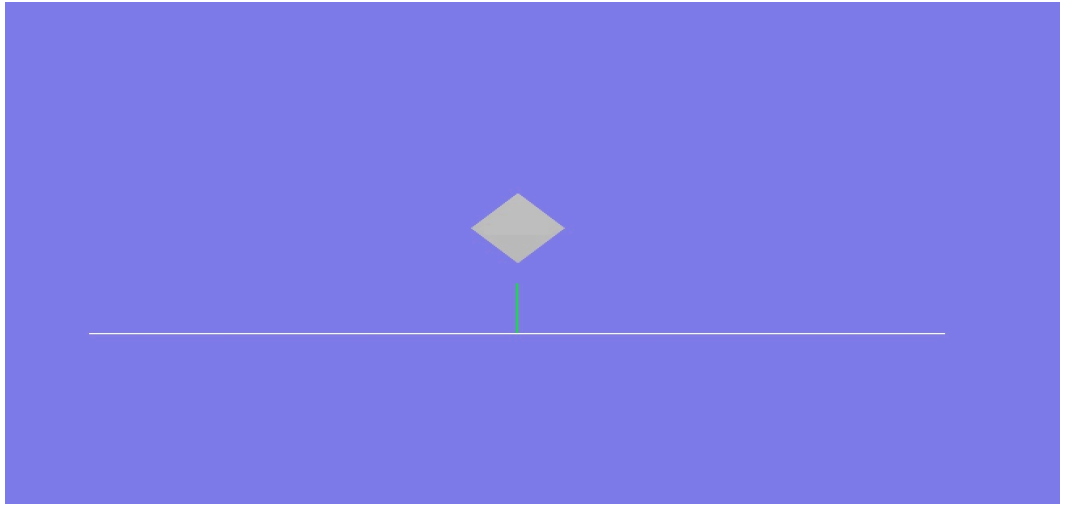
```
gl.model(Translation(1, 1, 0)
  * RotationZ(45)
  * Scale(0.5, 0.5, 0.5)
  * Translation(1, 1, 0) );

gl.draw(m_quad);
```



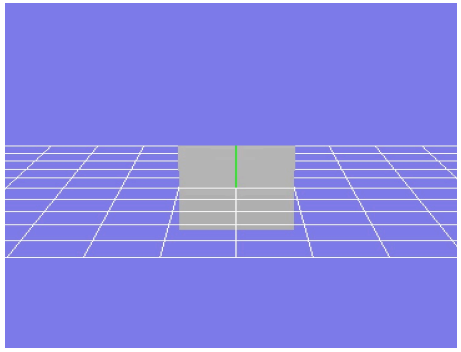
Attention à l'ordre des combinaisons

```
gl.model(RotationZ(45)
        * Translation(1, 1, 0)
        * Scale(0.5, 0.5, 0.5)
        * Translation(1, 1, 0) );

gl.draw(m_quad);
```

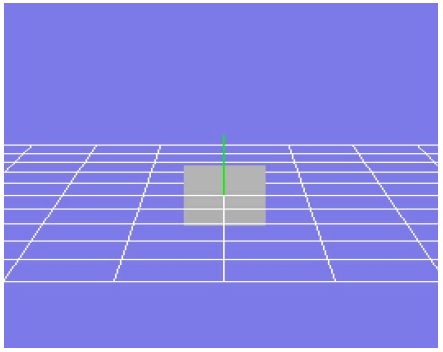
Ordre entre translation et rotation a de l'importance !



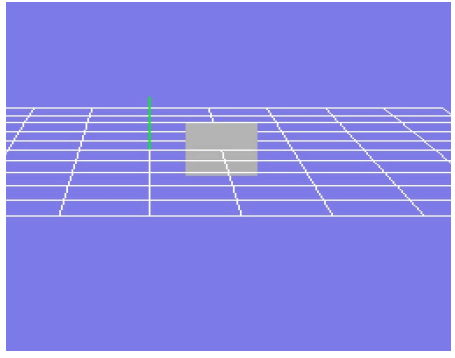
Attention à l'ordre des combinaisons



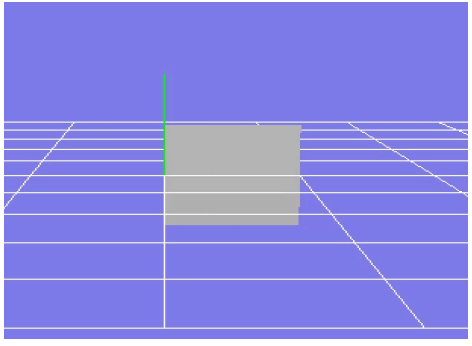
```
gl.model(Identity());
```



```
gl.model( Scale (0.5, 0.5, 0.5) );
```



```
gl.model(Translation(1, 0, 0)
        * Scale (0.5, 0.5, 0.5));
```



```
gl.model(Scale (0.5, 0.5, 0.5)
        * Translation(1, 0, 0) );
```

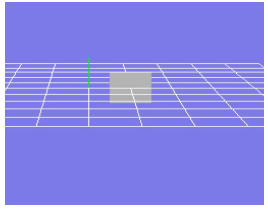
Attention à l'ordre des combinaisons

L'ordre des transformations est très important :
un **changement d'échelle suivi d'une translation** est différent d'une **translation suivie d'un changement d'échelle**

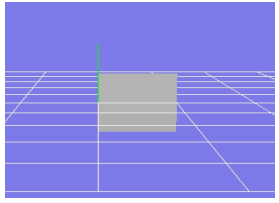
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & \Delta x \\ 0 & s_y & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & s_x \Delta x \\ 0 & s_y & s_y \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

```
gl.model(Translation(1, 0, 0)
        * Scale (0.5, 0.5, 0.5));

gl.model(Scale (0.5, 0.5, 0.5)
        * Translation(1, 0, 0) );
```



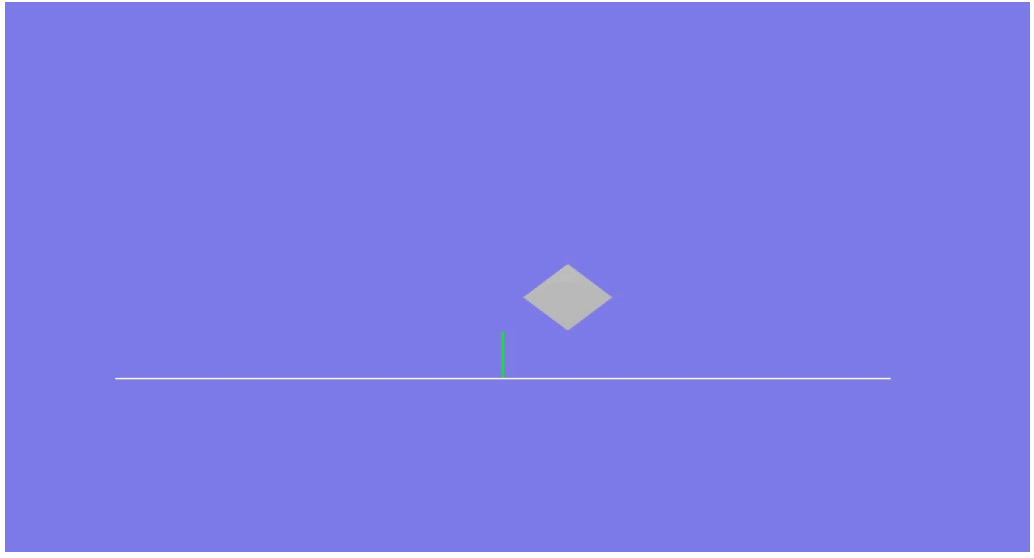
≠



Combinaison de transformations

Sinon en commençant par le Scale...

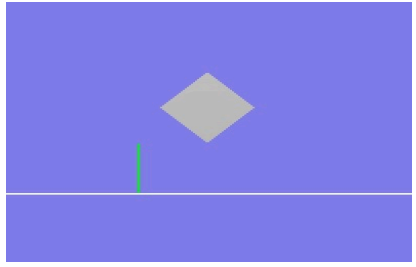
```
gl.model(Translation(1, 1 + 0.5 * sqrt(2), 0)
       * RotationZ(45)
       * Scale(0.5, 0.5, 0.5));

gl.draw(m_quad);
```



Combinaisons de transformations

Il est possible de représenter toutes les combinaisons de transformations par une multiplication d'une matrice et d'un point

```
gl.model(Translation(1, 1, 0)
    * RotationZ(45)
    * Scale(0.5, 0.5, 0.5)
    * Translation(1, 1, 0) );
```



Cela revient à faire :

$P' = T(1, 1, 0)\ Rot\_Z(45°)\ S(½, ½, ½)\ T(1,1, 0)\ P$

Dans cet exemple, on fait dans l'ordre :

1. Translation
2. Scale
3. Rotation
4. Translation

Rotation et changement d'échelle

La rotation et le changement d'échelle sont des opérations qui s'opèrent par rapport à l'origine

Pour effectuer une de ces opérations par rapport à un point arbitraire, on doit utiliser deux translations :

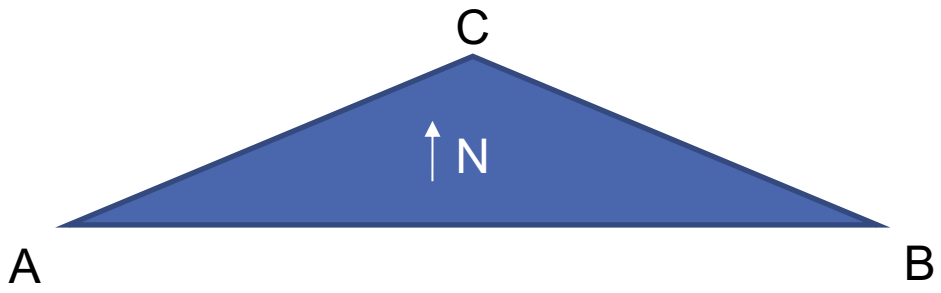
- la première pour ramener le point à l'origine et la seconde pour replacer l'objet à sa position originale

$$T(a,b)\,R(\theta)\,T(-a,-b)$$

Récapitulons sur un exemple simple

Création d'un triangle

- Il est défini par 3 sommets de coordonnées (x, y, z)



- Il est défini par une normale
  - N = ?

Création d'un triangle

Viewer_etudiant.h

```
class ViewerEtudiant : public Viewer
{
public:
    ViewerEtudiant();

    int init();
    int render();
    int update( const float time, const float delta );


protected:

    Mesh m_triangle;  // Déclaration d'une variable de type Mesh

    void init_triangle(); // Déclaration de la fonction de création du maillage
 };
```

Création d'un triangle

Viewer_etudiant.cpp

```
void ViewerEtudiant::init_triangle() // Fonction créant le Mesh du triangle
{
    m_triangle = Mesh(GL_TRIANGLE); // Choix primitive OpenGL

    Point A(1, 0, 0);            // Les 3 sommets du triangle
    Point B(3, 0, 0);
    Point C(1.5, 1, 4);

    Vector AB = Vector(A,B);   // Calcul de la normal à la face
    Vector AC = Vector(A,C);
    Vector n = normalize (cross (normalize(ab), normalize(ac)) );    // n = AB x AC (produit vectoriel)

    m_triangle.normal(n); // Paramètre = 1 Vector = Normale au triangle
    m_triangle.vertex(A); // Paramètre = 1 Point = Création du sommet 0
    m_triangle.vertex(B); // Paramètre = 1 Point = Création du sommet 1
    m_triangle.vertex(C); // Paramètre = 1 Point = Création du sommet 2
}
```

Création d'un triangle

Viewer_etudiant.cpp

```
void ViewerEtudiant::init_triangle() {
    m_triangle = Mesh(GL_TRIANGLE); // Choix primitive OpenGL
    m_triangle.normal(n); // Paramètre = 1 Vector = Normale au triangle
    m_triangle.vertex(A); // Paramètre = 1 Point = Création du sommet 0
    m_triangle.vertex(B); // Paramètre = 1 Point = Création du sommet 1
    m_triangle.vertex(C); // Paramètre = 1 Point = Création du sommet 2
}
```

On a créer le maillage du triangle :

- Stocker les normales : la même pour chaque sommet
- Stocker les coordonnées des sommets
- Stocker la face (définies par les 3 indices de sommets)

Le code crée 1 face par le `GL_TRIANGLE` : Face 0 = Triangle 0 = 0, 1, 2

Affichage du triangle qui subit une transformation

Viewer_etudiant.cpp

```
ViewerEtudiant::render() {
    // Definition de la transformation géométrique
    Transform T = Scale(2,2,2);

    // Applique la transformation au contexte OpenGL
    gl.model(T);

    // Affiche le Mesh du triangle ayant subi la transformation
    gl.draw(m_triangle);
}
```

Cela affiche le triangle A, B, C mais chaque coordonnée des sommets est avant multipliée par la matrice de transformation du `Scale`

On affiche ainsi un triangle deux fois plus grand que la taille issue des coordonnées initiales

Affichage de 3 triangles

Viewer_etudiant.cpp

```
ViewerEtudiant::render() {
    gl.model(Scale(2,2,2));
    gl.draw(m_triangle);
    gl.model(Identity());
    gl.draw(m_triangle);
    gl.model(Translate(10, 0, 0));
    gl.draw(m_triangle);
}
```

Cela affiche trois triangles en utilisant le même maillage défini précédemment :

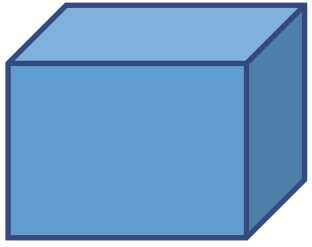
- Triangle ayant dimension doublée
- Triangle issu du maillage défini au départ
- Triangle issu du maillage défini au départ ayant subit 1 translation

Ce n'est que de l'affichage, le maillage n'est stocké qu'une fois !

Exercice – Formes de base

Création d'un cube (à faire en TD et TP)

- Cube centré en (0,0,0) et de côté 2
- Il peut être défini par 6 polygones
- Il peut être défini avec une structure indexée



Exercice – Formes de base

Création d'une pyramide (à faire)

- Avec 4 polygones : base triangulaire
- Avec des TRIANGLE_STRIP
- Avec une structure indexée

Exercice – Formes de base

Création d'une sphère (à faire en TD et TP)

- Centrée en (0, 0, 0)
- De rayon 1

Création d'un cône (à faire en TD et TP)

- Base centrée en (0, 0, 0)
- Base de rayon 1
- Hauteur : 1

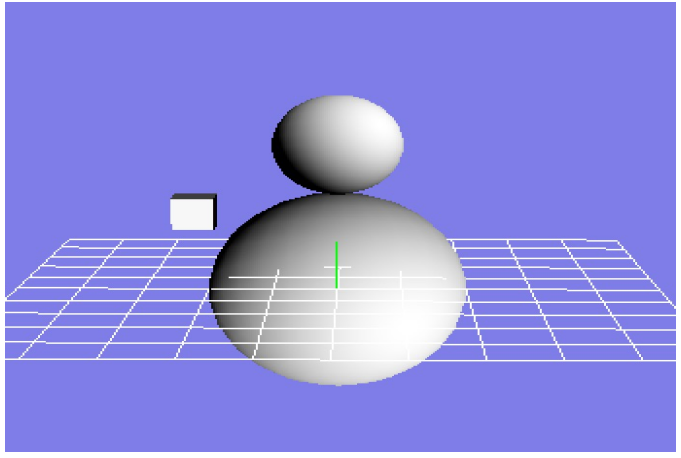
Création d'un cylindre (à faire en TD et TP)

- Centre : (0, 0, 0)
- Base de rayon 1
- Hauteur : 1

Il faudra également mettre les normales à ces formes de base

Exercice : affichage d'un objet complexe

En TD : On souhaite dessiner un « bonhomme de neige »

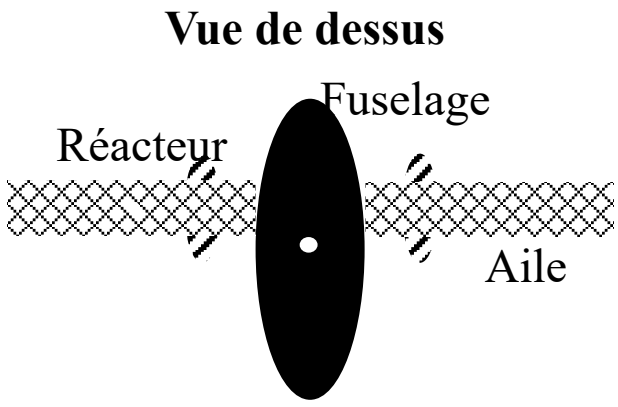


- Un corps blanc
  - de diamètre 4
  - centre en (0,0,0) ;
- Une tête blanche
  - de diamètre 2 ;

Exercice : affichage d'un objet complexe

En TP : on souhaite dessiner un avion

- On dispose de 2 fonctions
  - *gl.draw(m_cube)* : dessine un cube centré en 0
  - *gl.draw(m_sphere)* : dessine une sphère centrée en 0



Gkit – Pour en savoir plus…

Documentation de gkit en ligne :

https://perso.univ-lyon1.fr/jean-claude.iehl/Public/educ/M1IMAGE/html/index.html

Tutoriel sur les transformations géométriques :

https://perso.univ-lyon1.fr/jean-claude.iehl/Public/educ/M1IMAGE/html/group__transformations.html

Pour connaître les opérations définies dans gkit sur les Points, les Vecteurs et les transformations géométriques :

https://perso.univ-lyon1.fr/jean-claude.iehl/Public/educ/M1IMAGE/html/group__math.html

Ce qu'il faut retenir du cours

Modèle géométrique permet de décrire la forme d'un objet = géométrie + topologie

Il existe différents modèles géométriques, notamment modèles surfaciques et volumiques

On va utiliser la librairie gkit pour les TPs

Les fonctions de bases de gkit : `init()`, `update()`, `render()`

Les étapes de base pour créer un objet en utilisant la librairie gkit :

- Définition de son maillage
- Définition des transformations géométriques qui lui seront appliquées
- Affichage du maillage ayant subi les transformations géométriques

Il faut comprendre ce qui est fait lors de ces étapes (lien avec les opérations mathématiques)