M2-Images

Rendu temps réel - OpenGL 3

J.C. Iehl

September 26, 2012

résumé des épisodes précédents . . .

synthèse d'images :

- modèle géométrique de la forme des objets,
- transformation en primitives,
- transformations,
- pipeline graphique.

détails . . .

Présentation de l'api

openGL est un automate, l'api n'est pas basée objet.

sélecteurs :

- sélectioner un "objet" / "groupe de propriétés" (l'objet que l'on veut paramétrer),
- puis modifier les propriétés associées (le contexte),
- l'objet est implicite dans les fonctions de modifications,
- les "objets" sont manipulés à travers un identifiant opaque (pas de pointeur).

Présentation de l'api

exemple :

```
GLuint buffer;
glGenBuffers(1, &buffer);

// selectionne l'objet
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, buffer);

// modifie une propriete de l'objet,
// sa capacite, par exemple:
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER,  ... );
```

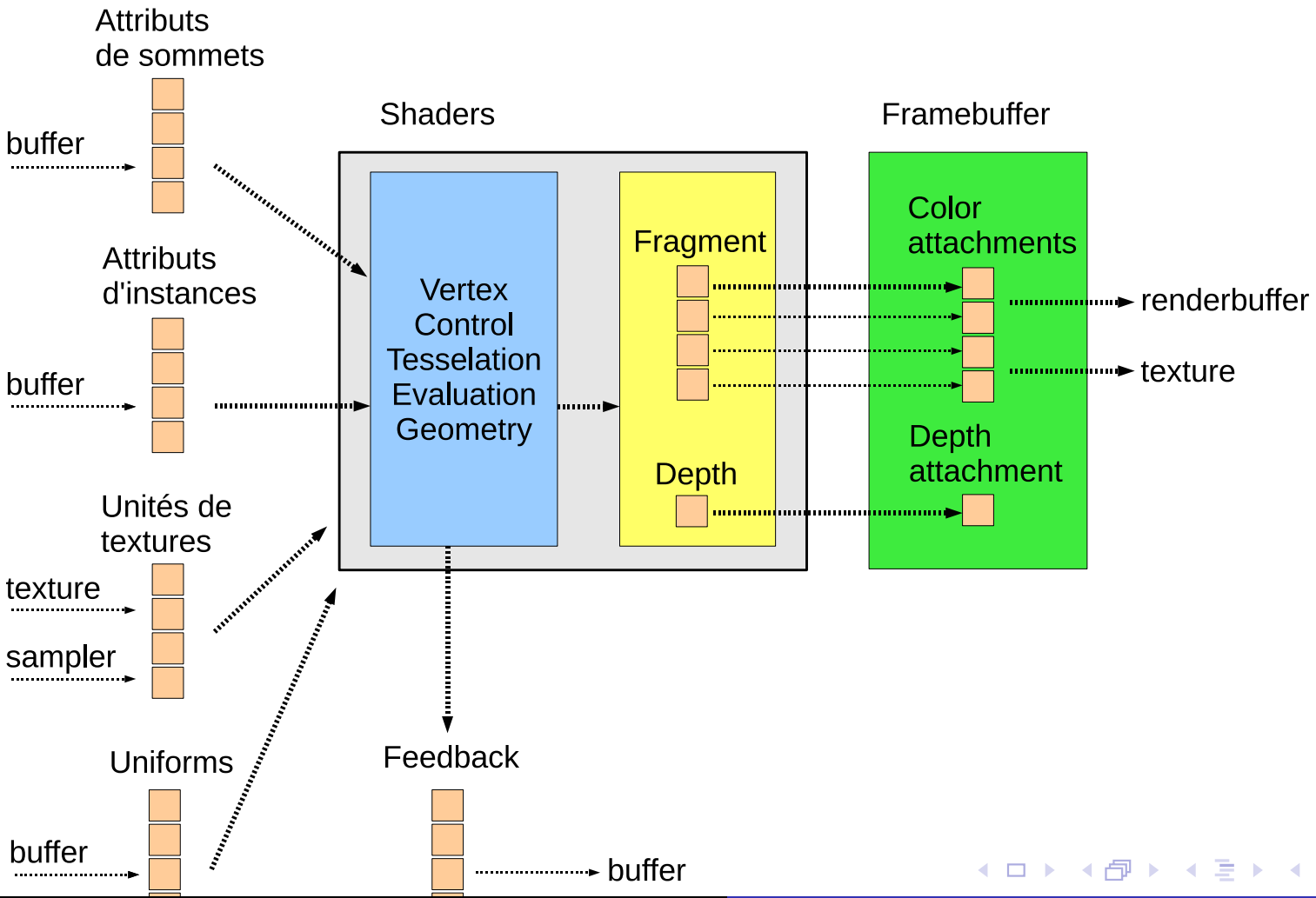
Présentation de l'api

les fonctions de l'api sont nommées en fonction du type de leur paramètres. (pas de surcharge en C...)

exemple :

```
glUniform1i( ...  GLint v );
glUniform3f( ...  GLfloat x, GLfloat y, GLfloat z );
```

Présentation de l'api



Transformations

afficher un objet :

- les (positions des) sommets des primitives sont définies dans un repère lié à l'objet,
- il faut placer et orienter chaque objet dans la scène,
- et changer encore de repère pour placer les objets dans le repère de la caméra,
- + les projetter sur le plan image 2d pour les dessiner,
- + mettre à l'échelle de la fenêtre !

== enchainement de changement de repères.

Transformations ...

utilisation de matrices ...

pour représenter tous les types de changements de repères.

une api 3d utilise des matrices homogènes 4×4 ...

Matrices homogènes

représenter une rotation :

- R : matrice 3×3 et p : vecteur 3,
- changement de repère : $p' = Rp$.

mais pour représenter une translation ?

- changement de repère : $p' = Tp$. comment définir T ?

une matrice homogène encode les translations dans une colonne supplémentaire.

Matrices homogènes

translation par un vecteur $\vec{t}$:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matrices homogènes

d'autres transformations :

- rotationX, rotationY, rotationZ, rotation,
- translation,
- mise à l'échelle,
- symétrie, miroir / reflet,
- projections orthographique et perspective.

Vecteurs et points homogènes

plus qu'à calculer le produit matrice $\times$ vecteur . . .

euh . . . il manque une ligne ?

$$\vec{u}^h = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \\ u_w = 0 \end{bmatrix} \text{ et } p^h = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ p_w = 1 \end{bmatrix}$$

pourquoi ? on peut simplifier en disant :
"un vecteur ne subit pas de translation, donc $u_w = 0$"

Vecteurs et points réels

certaines transformations modifient la composante w

- une projection, par exemple.
- comment retrouver le point "réel" correspondant ?

$$p = p^h / p^h_w = \begin{bmatrix} p^h_x / p^h_w \\ p^h_y / p^h_w \\ p^h_z / p^h_w \\ p^h_w / p^h_w = 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Compositions de transformations

seulement 3 matrices :

- `ModelView` : objet $\rightarrow$ scène $\rightarrow$ caméra,
- `Projection` : définit la projection de la caméra,
- `Viewport(x, y, w, h)` : définit les dimensions de la fenêtre.

succession de plusieurs repères : objet, scène, caméra, projection, fenêtre.

"grouper" plusieurs transformations dans une seule matrice ?

Compositions de transformations

$$\text{repère 1} \xrightarrow[T_{12}]{} \text{repère 2} \xrightarrow[T_{23}]{} \text{repère 3}$$

on connait $p1$, les coordonnées de p dans le repère 1, quelles sont ses coordonnées dans le repère 3 ?

$$\begin{aligned} p_2 &= T_{12} p \\ p_3 &= T_{23} p_2 \\ p_3 &= T_{23}(T_{12} p) \\ p_3 &= T_{23} T_{12} p \\ p_3 &= Tp \text{ avec } T = T_{23} T_{12} \end{aligned}$$

Compositions de transformations

et dans l'autre sens ?

on connait p_3, et on veut les coordonnées de p dans le repère 1 ?

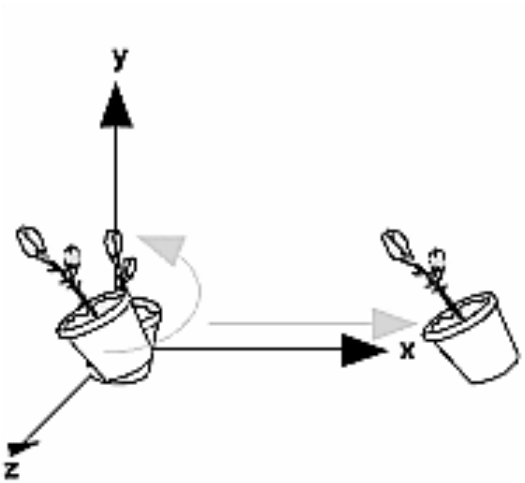
$$\text{repère 1} \xleftarrow[(T_{12})^{-1}]{} \text{repère 2} \xleftarrow[(T_{23})^{-1}]{} \text{repère 3}$$

$p_3 = T_{13}p$ et $p = (T_{13})^{-1}p_3$

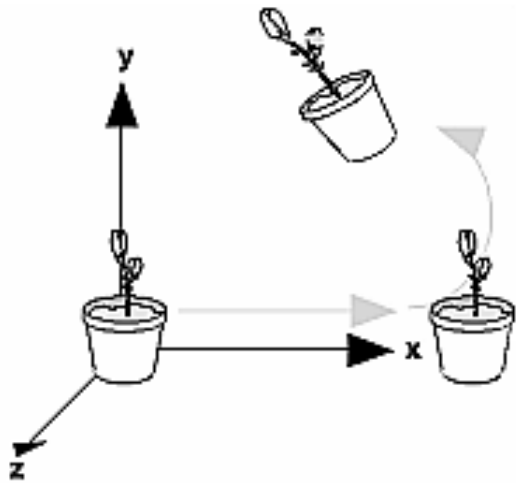
Transformations : Bilan

l'ordre des transformations est important :

- le produit de matrices n'est pas commutatif,
- calculs dans l'ordre inverse des changements de repères.



Rotate then Translate



Translate then Rotate

Afficher un objet

en résumé :

- définir les dimensions de la fenêtre (`glViewport`),
- définir la projection de la caméra (`Projection`),
- placer et orienter l'objet dans (le repère de) la scène (`Model`),
- placer et orienter la caméra dans (le repère de) la scène (`View`),
- paramétrer le shader avec les transformations.

Affichage

allouer des buffers sur le gpu et transférer les données.

plusieurs représentations :

- vertex buffer : efficace,
- vertex buffer + index buffer : plus performant,
- réordonner les sommets pour exploiter les caches du gpu.

Vertex Buffer Object

- créer les buffers,
- allouer les buffers,
- transférer les données,
- activer et associer les buffers aux attributs nécessaires à l'exécution des shaders,
- afficher avec `glDrawArrays( ... )`.
- afficher avec `glDrawElements( ... 0 )`.

représenter les associations (buffer + description, attribut du shader) ?

Vertex Buffer Object

créer un buffer et transférer les données :

- créer : `glGenBuffers( )`,
- activer : `glBindBuffer( buffer )`,
- allouer : `glBufferData( length )`,
- transfert : `glBufferSubData( offset, length )`,
- `glMapBuffer[Range]( offset, length )`,
- `glUnmapBuffer( )`.

Vertex Array Object

attributs de sommets :

- un vertex shader utilise des attributs définis pour chaque sommet,
- chaque attribut est stocké dans (une partie d') un buffer,
- chaque attribut est identifié par un index,
- décrire ou trouver les données de chaque attribut ? (dans quelle partie de quel buffer...)

créer et configurer un vertex array object...

Vertex Array Object

créer un vertex array :

- créer : `glGenVertexArrays( )`,
- activer : `glBindVertexArray( )`,
- associer un buffer et un attribut : `glVertexAttribPointer( )`,
- activer l'association : `glEnableVertexAttribArray( )`

utiliser `glGetAttribLocation()` pour obtenir l'index de l'attribut manipulé par le vertex shader.

exemple : création Vertex Array Object

```
GLuint vertex_array;
glGenVertexArrays(1, &vertex_array);

glBindVertexArray(vertex_array);
```

Vertex Buffer Object

- créer un buffer et transférer les positions des sommets,
- activer le buffer sur `GL_ARRAY_BUFFER`,
- associer le tableau de sommets `glVertexAttribPointer( )`,
- activer l'utilisation d'un tableau de sommets `glEnableVertexAttribArray( )`,
- afficher les primitives, `glDrawArrays( )`.

attention: un vertex array doit etre actif !

Exemple : création vertex buffer

```
Point sommets[n]= { ... };

GLuint vertex_buffer;
glGenBuffers(1, &vertex_buffer);

glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vertex_buffer);
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(Point)*n,
    sommets, GL_STATIC_DRAW);
```

Exemple : dessiner avec un vertex buffer + vertex array

```
// activer le vertex array
glBindVertexArray(vertex_array);

// activer un buffer sur GL_ARRAY_BUFFER
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vertex_buffer);
// associer les donnees du buffer avec un
    attribut du shader
glVertexAttribPointer( attribut, 3, GL_FLOAT,
    sizeof(Points), 0 );
// activer l'utilisation de l'attribut
glEnableVertexAttribArray( attribut );

// draw
glDrawArrays( primitive, 0, n );
```

Index Buffer

- créer un buffer, transférer les indices des sommets de chaque primitive,
- activer le buffer sur `GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER`,
- afficher les primitives indexées, `glDrawElements( 0 )`.

Exemple : creation index buffer

```
unsigned int indices[m]= { ... };

GLuint index_buffer;
glGenBuffers(1, &index_buffer);

glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,
    index_buffer);
glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, sizeof(
    unsigned int)*m, indices, GL_STATIC_DRAW);
```

Exemple : dessiner avec un index buffer

```
// activer le vertex array
glBindVertexArray(vertex_array);
// l'association buffer / attribut est deja
    configuree

// activer l'index buffer
glBindBuffer( GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER,
    index_buffer );
// draw
glDrawElements( primitive, 24, GL_UNSIGNED_INT,
    0 );
```

Buffers : résumé

résumé :

- un buffer est un bloc de données,
- on peut stocker n'importe quoi dedans,
- interpretation du contenu lors de l'utilisation, cf. `glDrawElements`, `glVertexAttribPointer`,
- l'organisation des données est très souple : cf. paramètres `offset`, `stride`.

ne pas oublier le vertex array object...

Buffers : résumé

exercice :

- construire un seul buffer contenant les positions et les autres attributs de chaque sommet,
- construire un seul buffer contenant les attibuts de sommets et les indices,
- vérifier que l'affichage est correct.

Visibilité

rappel : pipeline graphique

- lancer de rayons,
- REYES (Renderman),
- rasterisation (OpenGL / DirectX).

Pipeline graphique : rasterisation

visibilité :

- pour chaque objet :
- pour chaque primitive de la surface de l'objet :
- déterminer les pixels sur lesquels se projette la primitive,
- + étapes suivantes du pipeline.

ne conserver que la couleur de la primitive la plus proche de l'observateur ?

Pipeline graphique : rasterisation

Z-buffer :
image de profondeur pour conserver le point de l'objet le plus proche de l'observateur.

les objets sont dessinés un par un, dans un ordre quelconque, mais l'image et le Z-buffer conservent la couleur et la profondeur du point (de l'objet) le plus proche (vu à travers le pixel).

Z-Buffer

utiliser un Z-Buffer :

- le z-buffer est crée en même temps que la fenêtre d'affichage,
- cf. paramètres de création du contexte.

avec SDL :

```
SDL_Init(SDL_INIT_VIDEO);
SDL_GL_SetAttribute(SDL_GL_DEPTH_SIZE, 16);

screen= SDL_SetVideoMode(width, height, 0, ...
    SDL_OPENGL);
```

Z-Buffer

activer / désactiver le test de visibilité :

- `glEnable(GL_DEPTH_TEST);`
- `glDisable(GL_DEPTH_TEST);`

modifier le test

`glDepthFunc( );`

Rasterisation

quelles transformations subit un sommet ? une primitive ?

comment déterminer si un sommet $v(x, y, z, 1)$ est visible ?

rappel :

$p_h = Tv_h = P(V(Mv))$

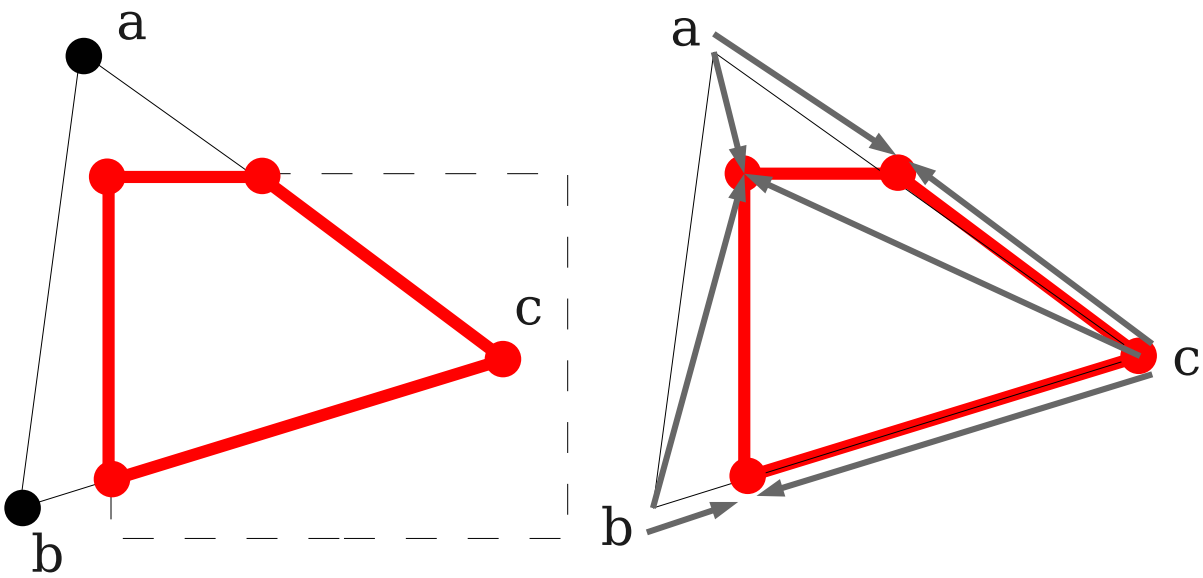
p_h est visible si :

$$\begin{aligned} -w_h < \quad x_h \quad < w_h \\ -w_h < \quad y_h \quad < w_h \\ -w_h < \quad z_h \quad < w_h \end{aligned}$$

Rasterisation

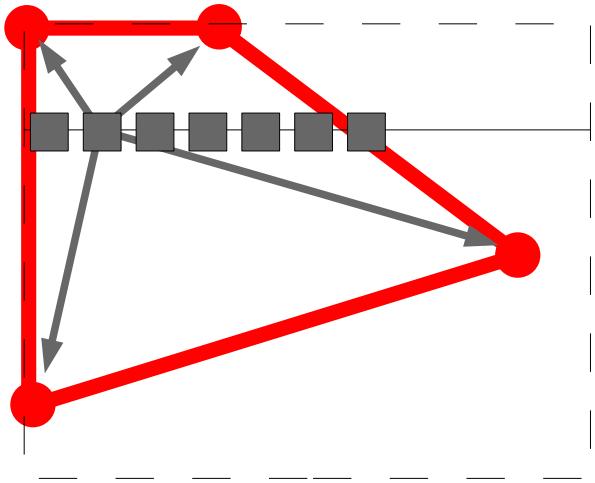
et si un sommet d'une primitive n'est pas visible ?

openGL crée un nouveau sommet visible et interpole tous les attributs.



Rasterisation

remplissage de l'intérieur de la primitive par interpolation des attibuts des sommets, couleur, normale, etc.



Rasterisation - Algorithme

comment dessiner un triangle ?

Incremental and Hierarchical Hilbert Order Edge Equation Polygon Rasterization

intuition :

- construire un tetrahèdre avec le triangle comme base et la caméra comme origine,
- un pixel appartient au triangle si le rayon associé est à l'intérieur des 4 plans portants les faces du tetrahèdre,
- calcul incrémental simple pour évaluer rapidement les 4 équations de plans pour des pixels voisins ?

comment ne pas dessiner un triangle ?

Rasterisation - Algorithme

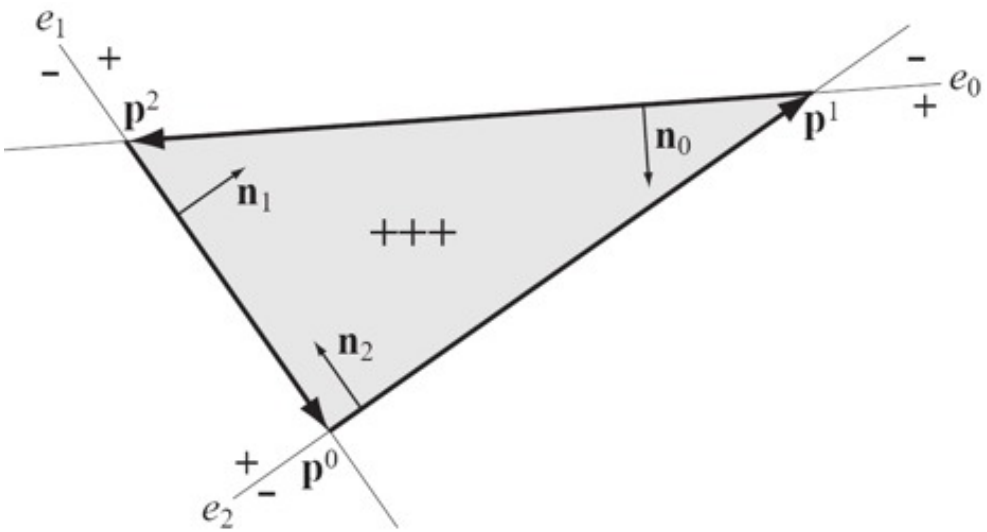
après simplification, 3 équations par triangle :

- $E_i(x, y) = a_i x + b_i y + c_i$
- le pixel (x, y) est à l'intérieur du triangle :
- si $E_i(x, y) > 0$ pour $i = 0, 1, 2$.

les équations correspondent aux arêtes du triangle projetté.

Rasterisation - Algorithme

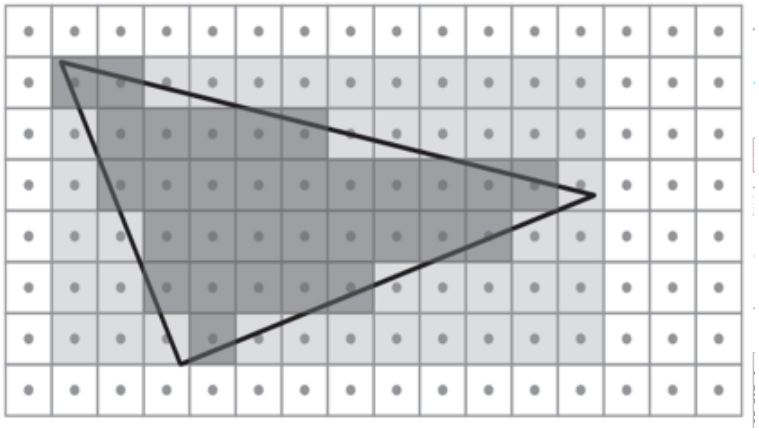
$$E_i(x,y) = a_i x + b_i y + c_i = \vec{n}_i \cdot (x,y) + c_i$$

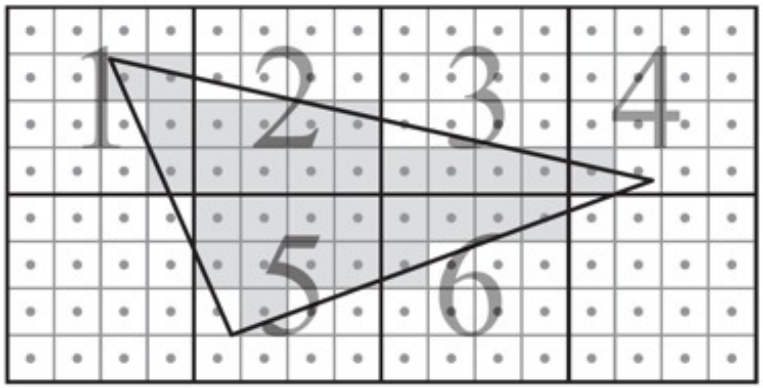


pour 2 points $p(p_x, p_y)$ et $q(q_x, q_y)$:
$E_{pq}(x,y) = -(q_y - p_y)(x - p_x) + (q_x - p_x)(y - p_y)$

Rasterisation - Algorithme

pour quels pixels de l'image évaluer les 3 équations ?





évaluation incrémentale :

- $E_i(0,0) = c_i$,
- $E_i(x+s, y+t) = E_i(x,y) + sa_i + tb_i$.

comment déterminer qu'un bloc intersecte le triangle ?

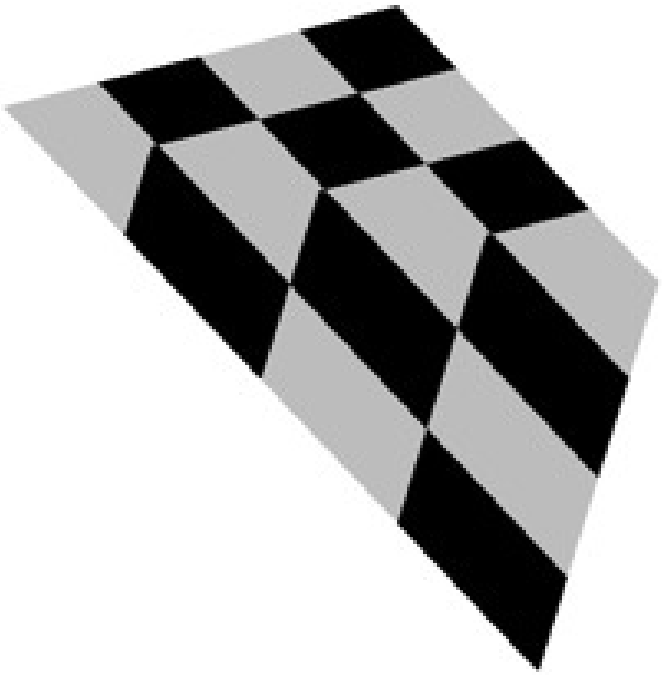
Rasterization - Efficacité

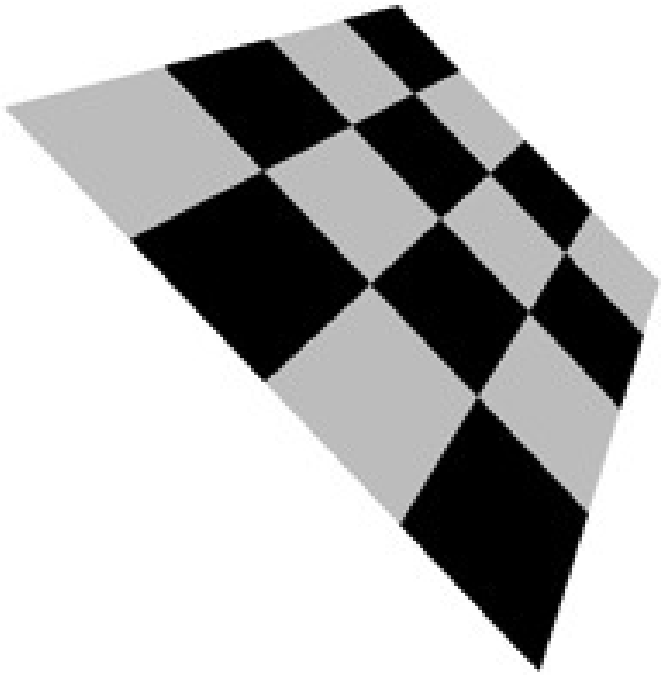
la taille des blocs est fixée :

- par le matériel...
- quelle efficacité en fonction de la taille des triangles ?

Rasterisation - Algorithme

comment interpoler les attributs des sommets ?





détails dans l'article.