Introduction à l'Informatique Graphique

- Généralités
- Concepts d'une scène 3D
- Coordonnées généralisées
- OpenGL et notion de Shaders

Introduction à l'Informatique Graphique

- **Généralités**
- Concepts d'une scène 3D
- Coordonnées généralisées
- OpenGL et notion de Shaders

Contexte

Omniprésence des modèles 3D

Application de loisirs

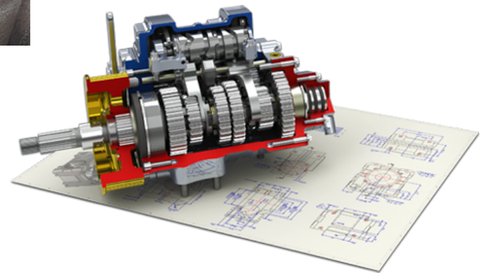
Cinéma/VFX

Jeux vidéos

Réalité virtuelle

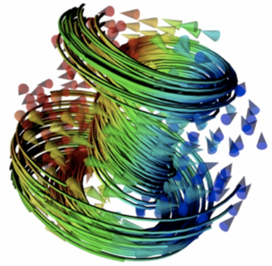
Nombreux autres domaines

CAO



Imagerie médicale

Physique

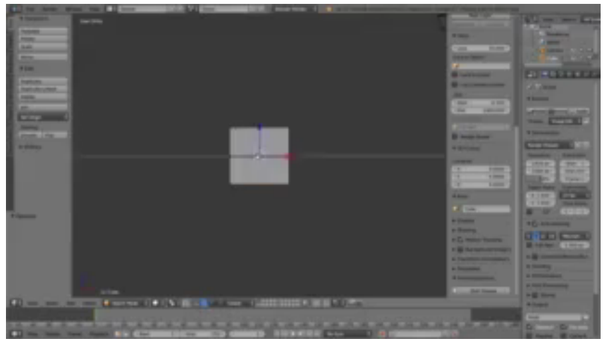


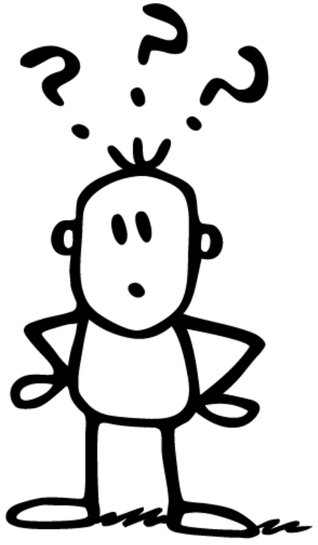
Création 3D

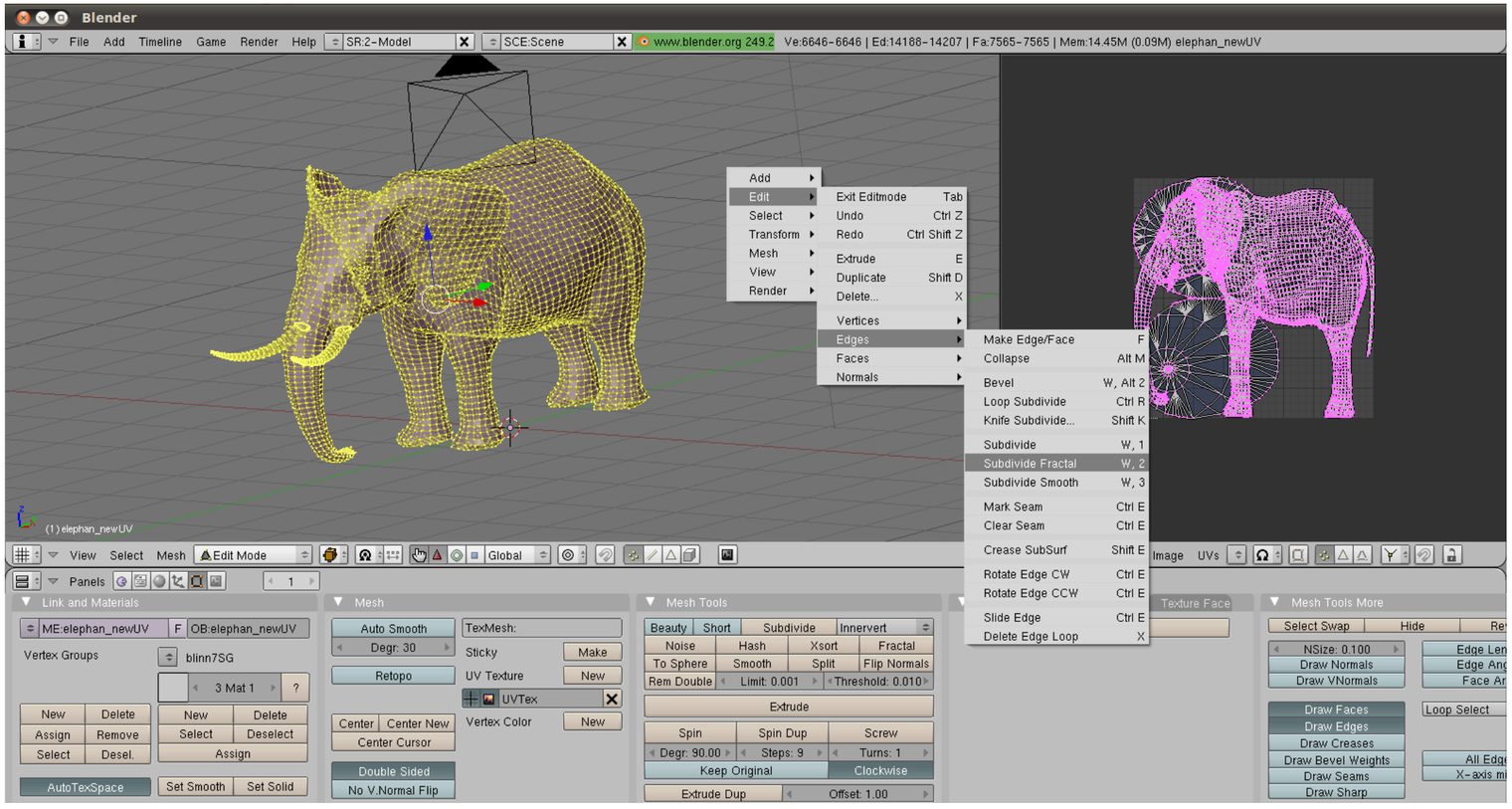
Conclusion: Il est aisé de concevoir et d'animer ses propres modèles 3D.

Création 3D

~~Conclusion: Il est aisé de concevoir et d'animer ses propres modèles 3D.~~







Création 3D

~~Conclusion: Il est aisé de concevoir et d'animer ses propres modèles 3D.~~

Cout/temps passé sur la 3D n'a jamais été aussi élevé

- Films animations/VFX
  - *Pirates of the Caribbean ($300M), Avengers ($350M), Toy Story 3 ($200M)*
  - *Cout moyen par séquence VFX (<10s) $50 000*
  - *Cout animation 3D > cout dessin manuelle images à images*

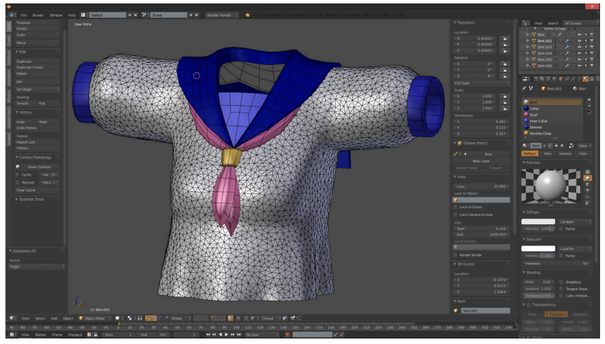
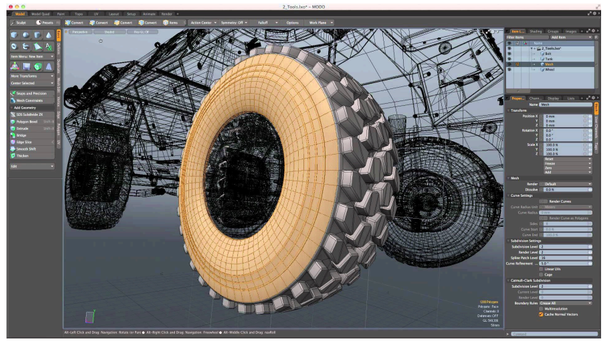
- Jeux vidéos AAA
  $100M, 2 à 4 ans de développements
  >100 développeurs, milliers d'artistes

Création 3D

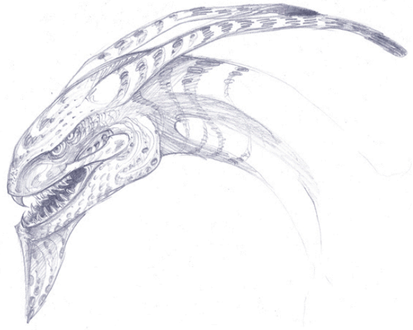
Les outils 3D se sont améliorés

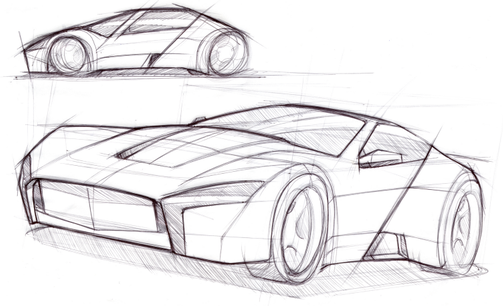
... mais restent complexes et très techniques (3 ans d'études infographistes).

La quantité et la qualité demandé a augmenté plus rapidement que les outils


Dessins/sculpture (à la main) restent plus efficaces pour le prototypage/design



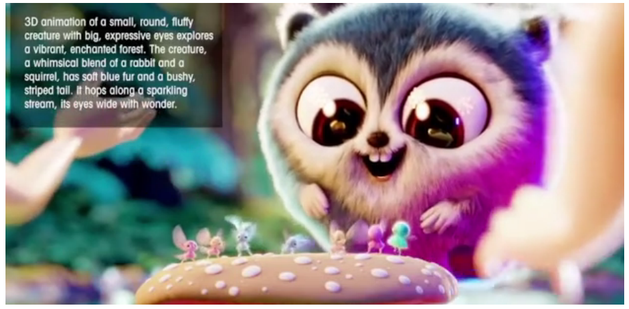



Création 3D

Les outils automatiques à base d'IA se développent

... mais restent très peu controlable

... avec un cout environmental qui explose



IA générative reste très expérimentale pour de vraies productions

Controlabilité + qualité + efficience reste un challenge

Not Found

The requested URL was not found on this server.

Apache/2.4.58 (Ubuntu) Server at gsplat.tech Port 443

Full screen

Informatique Graphique

Informatique graphique: Ensemble de sciences et techniques permettant de générer et manipuler des données visuelles.

- Efficace en temps, énergie, espace mémoire
- De manière controlable, interactive
- Permettant de générer des images de qualité

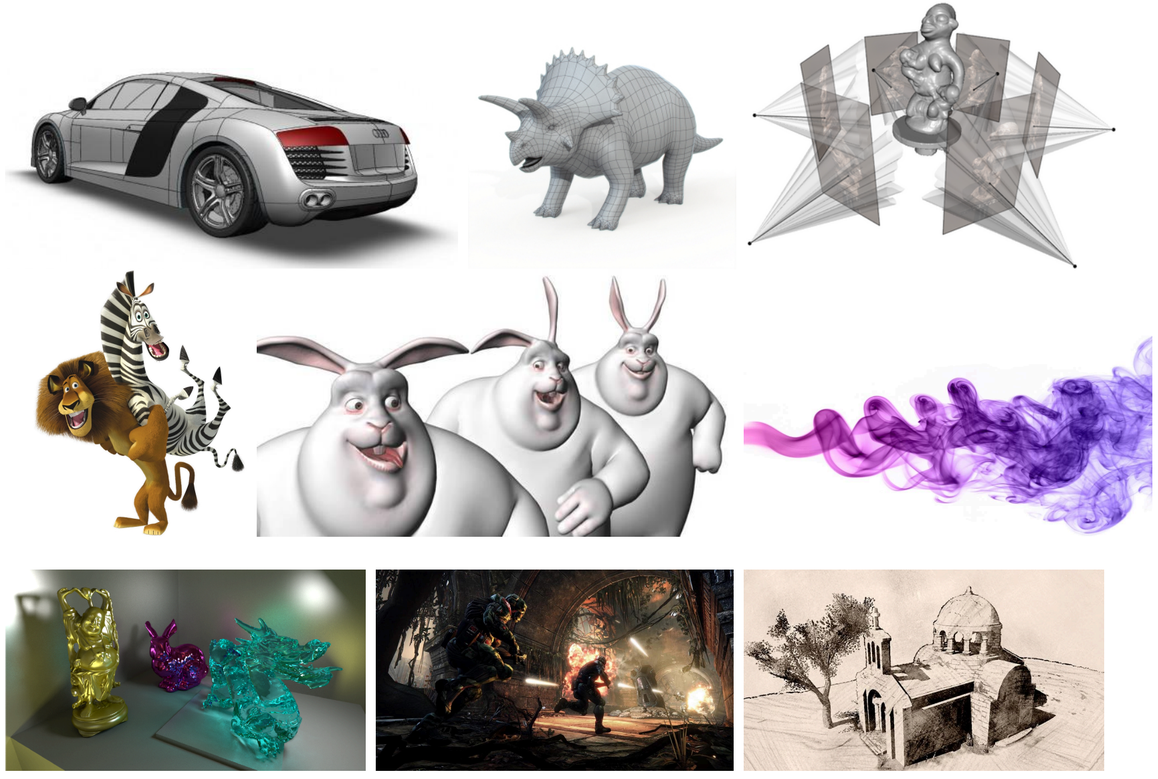
Applications diverses: loisirs, design, simulation naturelles, médicales, biologiques, etc.

Trois grands domaines

Modélisation (/Modeling)

Animation

Synthèse d'images/Rendu (/Rendering)



Thèmes reliés et vocabulaire

Sous-thèmes reliées

- **Réalité virtuelle (VR)**: Interaction avec scène 3D vue avec casque de VR (+ capteurs)
- **Réalité augmentée (AR)**: Superposition éléments virtuels + vue réelle
- **Réalité mixte/étendue (XR)**: VR + AR
- **Visualisation (/scientifique)**: Représentation visuelle dans un objectif d'explication ou de communication
- **Simulation 3D**: Méthode d'animation basée sur un modèle inspiré de la physique.
- **CAO (/CAD) (Computer Aided Design)**: Conception de design à partir de modeleurs 3D

Autre vocabulaire

- **Infographie**: Utilisation de logiciels de création de données visuelles (Maya, Blender, 3DS Max, etc.)
- **Analyse/traitement d'images**: Extraction d'information à partir d'images

  "Opposé" de la synthèse d'images
- **Computer Vision**: Analyse d'images/vidéos pour comprendre une scène tel qu'un humain le ferait (reconnaissance de formes, de mouvements, etc.)

Introduction à l'Informatique Graphique

- Généralités
- **Concepts d'une scène 3D**
- Coordonnées généralisées
- OpenGL et notion de Shaders

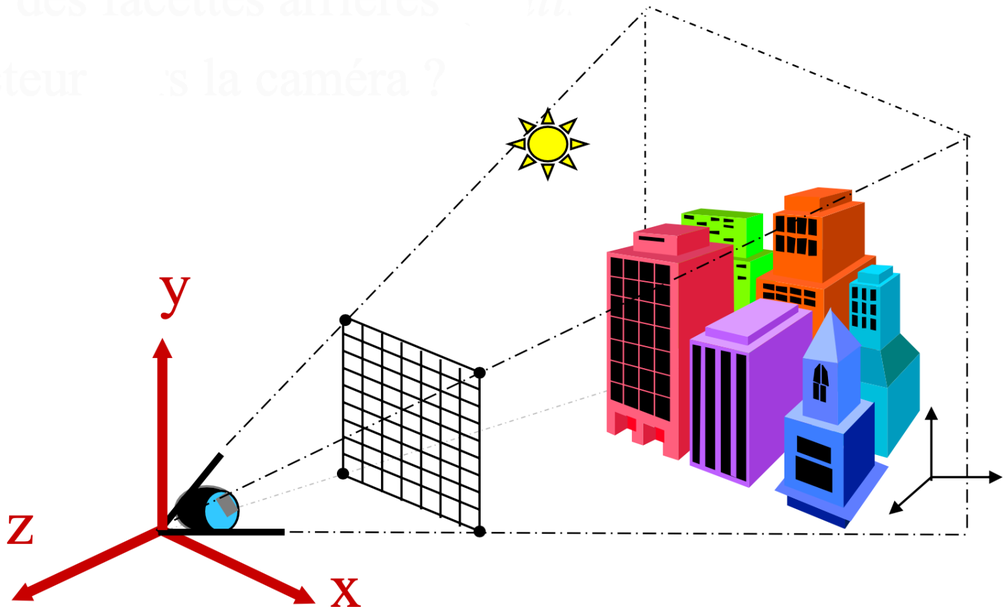
Principes d'une scène 3D - Concepts

Description

- Modèle 3D: Une surface ou un volume
- Source de lumière
- Caméra

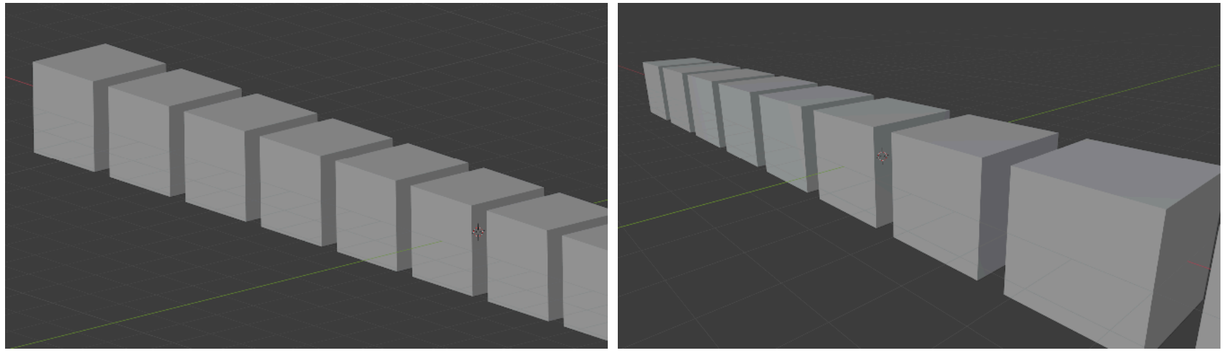
Sortie

- Image vue de la caméra



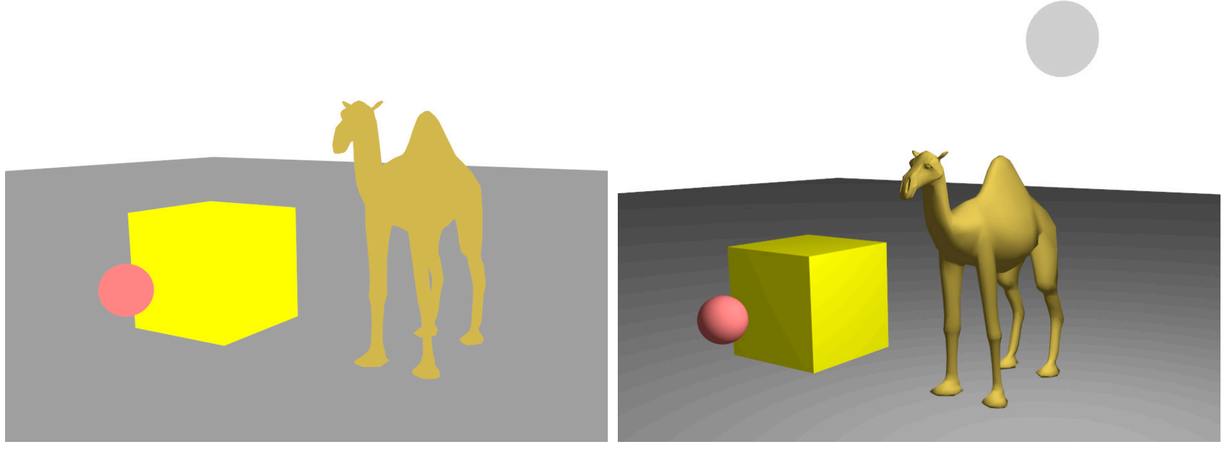
Perception d'une scène 3D sur une image

Effet de perspective



Objets éloignés: plus petits

Couleur indicatrice de la géométrie



Illumination varie en fonction de l'orientation de la surface à la source lumineuse

Definition image

Grille 2D de pixel, $N \times M$ pixels.

1 pixel = 1 couleur

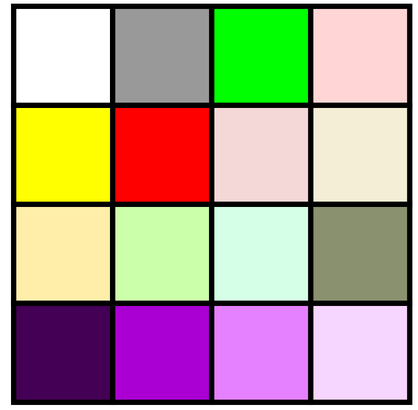
Format standard RGB (Red, Green, Blue)

ou RGBA - A: Canal alpha

En flottants: $c = (r, g, b)$ avec $r, g, b \in [0, 1]$

Exemple: $(0, 0, 0)$*:noir,* $(1, 0, 0)$*:rouge,* $(1, 1, 0)$*:jaune,* $(1, 1, 1)$*:blanc*

Format "additif" des couleurs



Autres formats:

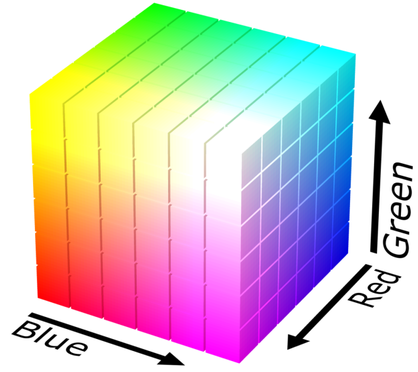
RGB en entiers: $(r, g, b) \in [\![0, 255]\!]^3$

CMYK: Cyan, Magenta, Yellow, Black - impression

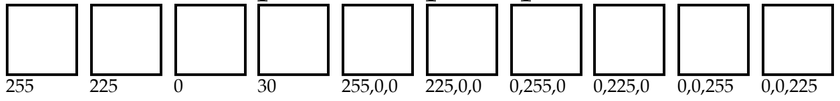
HSV: Hue, Saturation, Value

YP_bP_r: Luminance, Chrominance bleue, Chrominance rouge

CIELAB: Perceptuellement uniforme

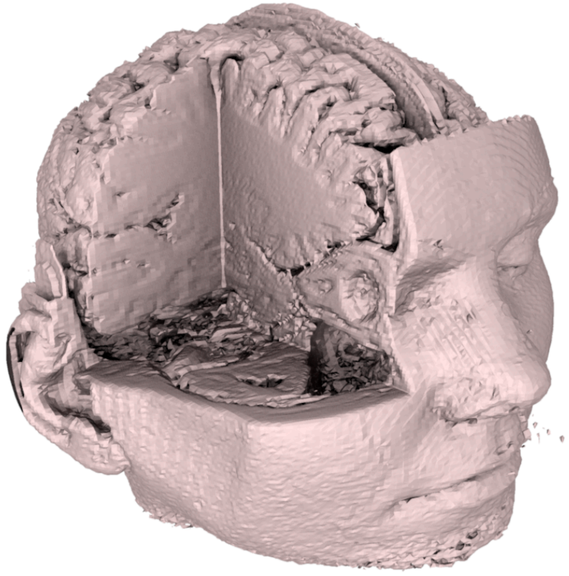


Rem. RGB - espace non perceptuel



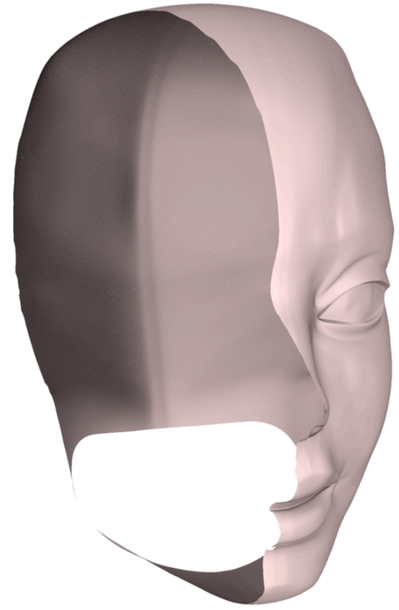
Représentation de Modèle 3D

Volume



Description complète
+ Densité

Surface



Uniquement partie visible
+ Econome en mémoire
+ Rendu efficace sur GPU

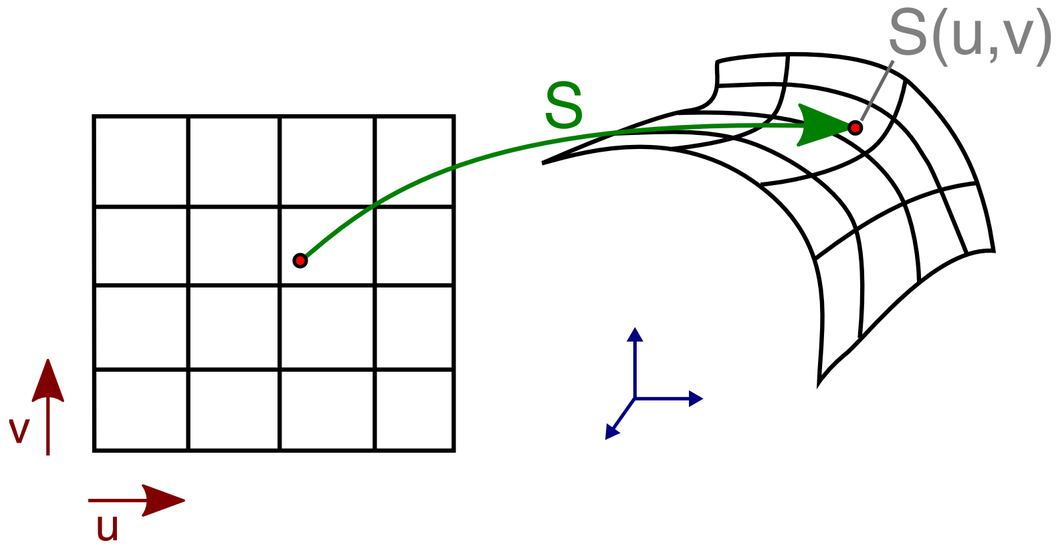
$\Rightarrow$ Informatique Graphique temps réel: **Surface** en majorité

Description d'une surface

Représentation Explicite

Fonction paramétrique

$S(u, v) = (x(u, v), y(u, v), z(u, v))$

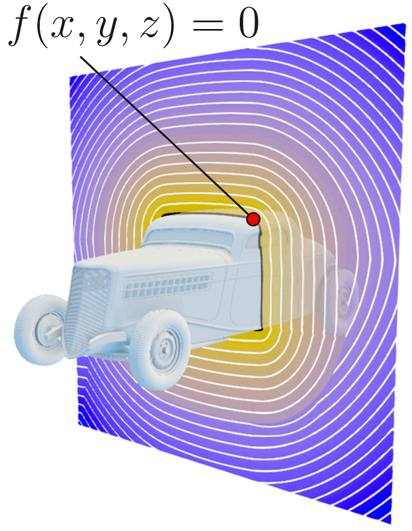


+ Notion de voisinage naturel, calcul différentiel

Représentation Implicite

Isosurface d'un champ scalaire

$S = \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 | f(x, y, z) = 0\}$



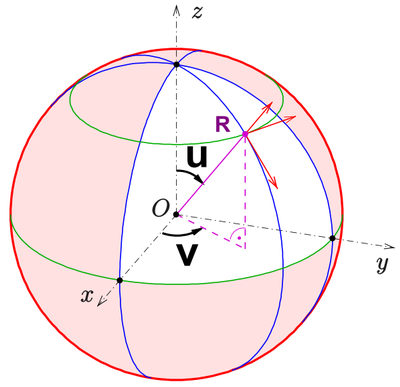
+ Adaptation topologique

Description d'une surface - Exemple d'une sphère

Représentation Explicite

Fonction paramétrique

$S(u, v) = (x(u, v), y(u, v), z(u, v))$



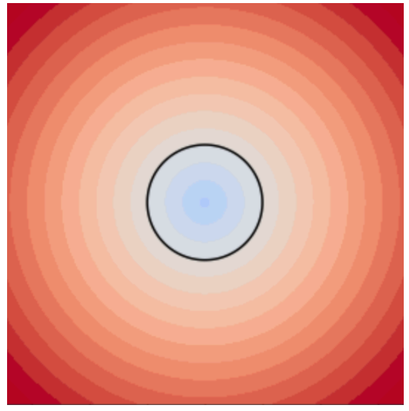
$$S(u,v) = \begin{cases} x(u,v) = R\sin(u)\cos(v) \\ y(u,v) = R\sin(u)\sin(v) \\ z(u,v) = R\cos(u) \end{cases}$$

$u \in [0, \pi], v \in [0, 2\pi]$

Représentation Implicite

Isosurface d'un champ scalaire

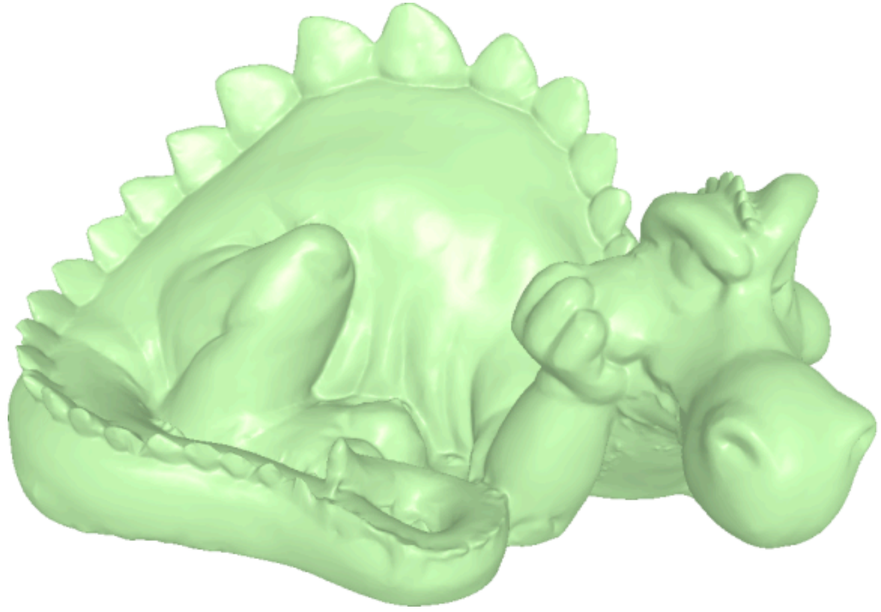
$S = \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 | f(x, y, z) = 0\}$



$$f(x, y, z) = x^2 + y^2 + z^2 - R^2$$

Description d'une surface

Quelle fonction pour représenter cette surface ?



$S(u,v) = ?$

$f(x,y,z) = ?$

Description d'une surface: Discrétisation et primitives

Utilisation approximation par morceaux, primitives et élèments discrets

Description idéale:

- **Approximation** précise de surface arbitraire
- Utilisation d'un **faible nombre de primitives**
- **Rendu efficace** par le GPU
- Manipulation aisée pour la **modélisation**

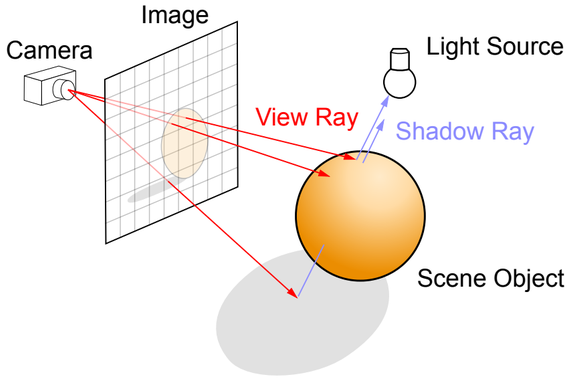
Exemples de modèles:

- *Maillages (/Mesh): maillages triangulaires, polygonales*
- *Polynomes: Béziers, Splines, NURBS*
- *Implicites: Voxels, Skelettes, RBS, MLS*
- *Point sets, Gaussian Splats*

Cartes graphiques $\Rightarrow$ spécialisées pour le rendu de maillages triangulaires

Rendu 3D

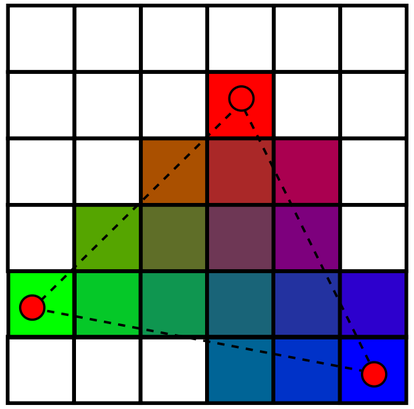
Lancé de rayons / Ray tracing



- *Lance rayon entre source de lumière et caméra*
- *Calcul des interesections des rayons avec formes 3D*

+ Rendu photo-réaliste
  (Ombres douces, reflection, refraction, etc.)
+ Surfaces arbitraires
- Cout de calcul

Projection/Rasterization



- *Suppose une forme composée de triangles*
  1. *Projette chaque triangle sur le plan caméra*
  2. *Rasterize les triangles en pixels de couleurs*

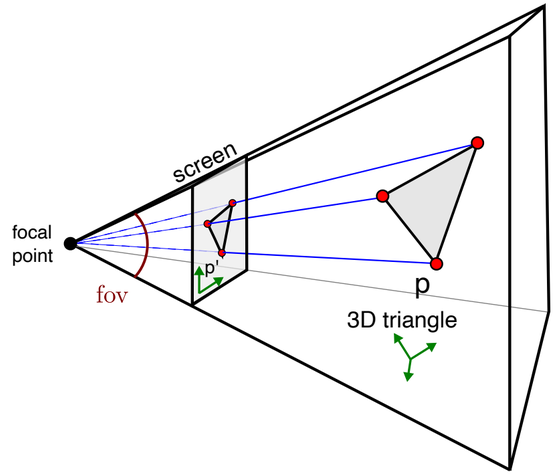
+ Approche dédiée des GPUs
- Limité aux triangles
- Pas d'effets natifs (ombres, transparence, etc.)

⇒ Le standard du rendu temps réel sur GPU

Projection / Rasterization

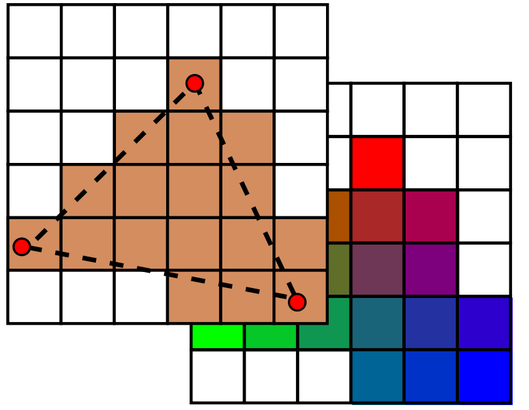
Surfaces composées de **triangles uniquement**

1. **Projette sommets des triangles sur plan caméra**



- Projection = opération matricielle
  Espace projectif $p' = \mathrm{M}\, p$

2. **Rasterization**



- Discrétisation en pixels (/ fragments)
- Interpolation des attributs (couleurs, etc) sur chaque fragment

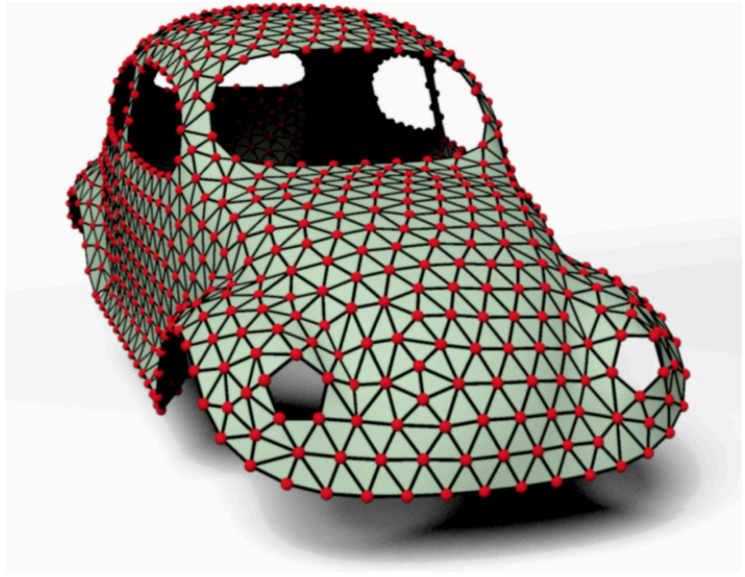
=> A vitesse interactive ($\geq$ 25-60 fps)
- Projetter l'ensemble des triangles
- Remplir tous les pixels parcouru par les couleurs

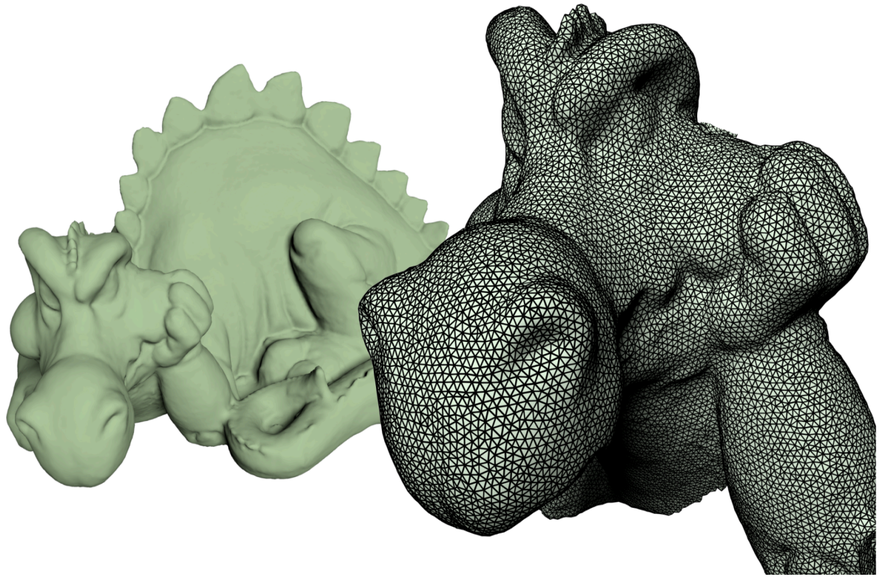
Maillage triangulaires

Représentation la plus simple pour une surface continue: ensemble de triangles

Décrite comme un ensemble de

- **Sommets (vertex/vertices)** $\mathcal{V} = (p_1, \ldots, p_{N_v})$, $p_i = (x_i, y_i, z_i) \in \mathbb{R}^3$
- **Faces**, triplets de Sommets $\mathcal{F} = (f_1, \ldots, f_{N_f})$, $f_i = (p_{i_1}, p_{i_2}, p_{i_3})$
- **Arêtes (Edges)** optionnels $\mathcal{E} = (e_1, \ldots, e_{N_e})$, $e_i = (p_{i_1}, p_{i_2})$





Propriété des triangles

Triangle T défini par (p_1, p_2, p_3).

Paramétrisation (u, v): $\begin{cases} p \in T = S(u,v) = p_1 + u\,(p_2 - p_1) + v\,(p_3 - p_1) \\ 0 \leq u + v \leq 1 \end{cases}$

Coordonnées barycentriques: $\begin{cases} p \in T = \alpha\, p_1 + \beta\, p_2 + \gamma\, p_3 \\ (\alpha, \beta, \gamma) \in [0,1],\ \alpha + \beta + \gamma = 1 \end{cases}$

Calcul des coordonnées barycentriques pour $p = (x, y, z) \in T$:

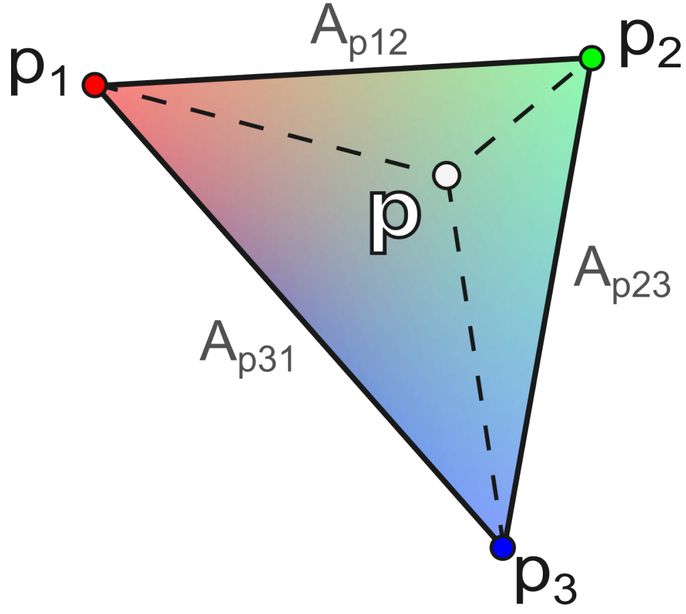
$\alpha = \frac{A_{p23}}{A_{123}}, \beta = \frac{A_{p31}}{A_{123}}, \gamma = \frac{A_{p12}}{A_{123}}$

$A_{123} = \frac{1}{2} \|(p_2 - p_1) \times (p_3 - p_1)\|$

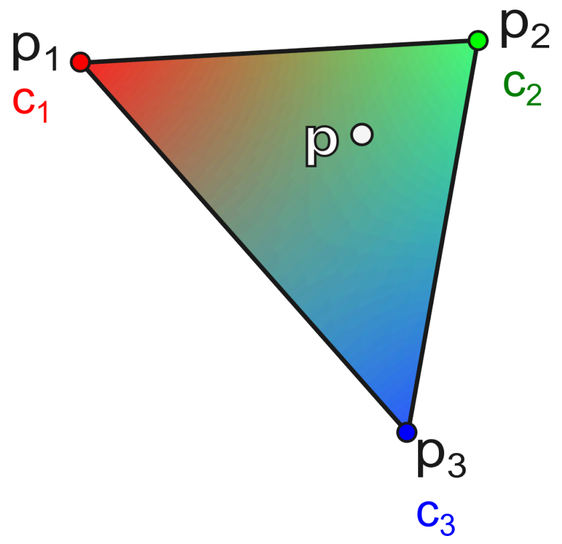
$A_{p23} = \frac{1}{2} \|(p_2 - p) \times (p_3 - p)\|$

$A_{p31} = \frac{1}{2} \|(p_3 - p) \times (p_1 - p)\|$

$A_{p12} = \frac{1}{2} \|(p_1 - p) \times (p_2 - p)\|$



Propriété des triangles - Applications



Interpolation barycentrique/linéaire

Soit un triangle T associées aux couleurs (c_1, c_2, c_3) aux sommets p_1, p_2, p_3

Quelle est la couleur $c(p)$ associée au point point p à l'intérieur du triangle?

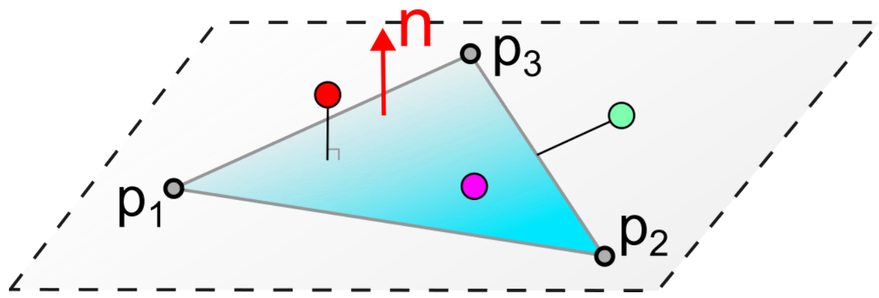
1) Calcul des coordonnées barycentriques (α, β, γ) de p
2) Couleur interpolée: $c(p) = \alpha\, c_1 + \beta\, c_2 + \gamma\, c_3$

Test d'intersection

Soit un triangle T défini par (p_1, p_2, p_3).

Testez si le point p est à l'intérieur du triangle T.

1) Condition nécessaire: Test si p est dans le plan du triangle
   $\Rightarrow$ Test $(p - p_1) \cdot n = 0$
   avec $n = (p_2 - p_1) \times (p_3 - p_1)$, normale à T
2) Condition suffisante: Test si p est à l'intérieur du triangle
   Calcul des coordonnées barycentriques α, β, γ
   $\Rightarrow$ Test $0 \leq (\alpha, \beta, \gamma) \leq 1$ et $\alpha + \beta + \gamma = 1$



Triangulation description

Exemple d'un tétrahèdre (p_0, p_1, p_2, p_3).

1ère Solution: *Soupe de triangles*

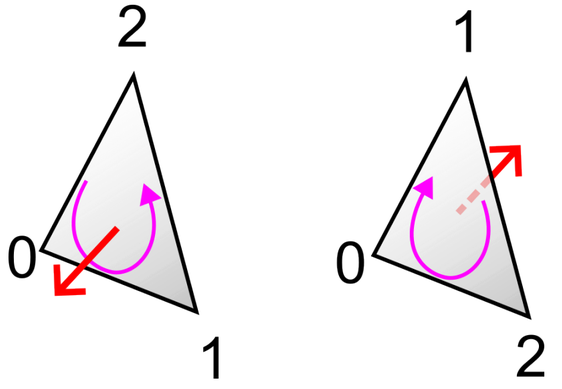
```
triangles = [(0.0, 0.0, 0.0), (1.0, 0.0, 0.0), (0.0, 0.0, 1.0),
             (0.0, 0.0, 0.0), (0.0, 0.0, 1.0), (0.0, 1.0, 0.0),
             (0.0, 0.0, 0.0), (0.0, 1.0, 0.0), (1.0, 0.0, 0.0),
             (1.0, 0.0, 0.0), (0.0, 1.0, 0.0), (0.0, 0.0, 1.0)]
```

2ème solution: *Géometrie, Connectivité (/topologie)*

```
geometry = [(0.0, 0.0, 0.0), (1.0, 0.0, 0.0), (0.0, 1.0, 0.0), (0.0, 0.0, 1.0)]
connectivity = [(0,1,3), (0,3,2), (0,2,1), (1,2,3)]
```

Rem: L'ordre des indices peut être utilisé pour définir l'orientation des faces.

ex: Main droite / counterclockwise



Example de format de fichier de maillage: OBJ

```
v -0.000000 0.620276 0.108446
v -0.000000 0.685780 0.104094
v 0.011128 0.685780 0.102245
v 0.014793 0.620276 0.106125
v 0.034724 0.684975 0.079817
v 0.040413 0.620278 0.086828
v 0.029160 0.619800 0.099405
v 0.024110 0.685194 0.093530
v 0.046714 0.554312 0.085764
v 0.033793 0.547222 0.100284
v 0.015067 0.542780 0.113608
v -0.000000 0.541146 0.117759
v 0.051177 0.430214 -0.047903
v 0.049948 0.435812 -0.035967
v 0.028863 0.449897 -0.050037
v 0.028839 0.444346 -0.059194
v 0.017691 0.251925 0.023686
v 0.034131 0.252216 0.014535
v 0.036689 0.275442 0.012672
v 0.015166 0.271140 0.025837
v 0.014869 0.285441 0.024957
```

Introduction à l'Informatique Graphique

- Généralités
- Concepts d'une scène 3D
- **Coordonnées généralisées**
- OpenGL et notion de Shaders

Transformations affines

Translation

$t(p) = (x + t_x, y + t_y, z + t_z)$

Homothétie/Scaling

$s(p) = (s_x\, x, s_y\, y, s_z\, z)$

$$\mathrm{S} = \begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & s_z \end{pmatrix}$$

Rotation

Several possible representations (see later)

$$\mathrm{R} = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & j \end{pmatrix}, \mathrm{R}\,\mathrm{R}^T = 1 \text{ et } det(\mathrm{R}) = 1$$

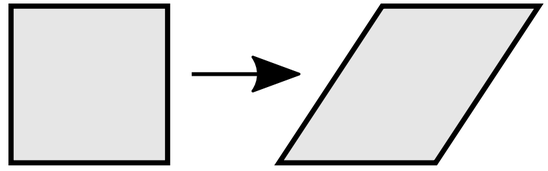
Isometrie
$(a, b, c) \perp (d, e, f) \perp (g, h, j)$
$||(a, b, c)|| = ||(d, e, f)|| = ||(g, h, j)|| = 1$

Transvection, Cisaillement/Shearing

$sh_{xy}(p) = (x + \lambda y, y, z)$
$sh_{xz}(p) = (x + \lambda z, y, z)$
$sh_{yx}(p) = (x, y + \lambda x, z)$
...

$$\mathrm{Sh}_{xy} = \begin{pmatrix} 1 & \lambda & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \mathrm{Sh}_{xz} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \lambda \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \mathrm{Sh}_{yx} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \lambda & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \ldots$$

Usually avoided in Graphics
Note: $\det(\mathrm{Sh}) = 1 \rightarrow$ *constant volume (but no isometry)*



Transformations affines et vecteurs / matrices 4D

Translation, Rotation, et Scaling très utilisées pour placer des formes dans l'espace 3D

Rotation et scaling $\rightarrow$ transformation linéaire $\rightarrow$ matrices 3×3.
Translation $\rightarrow$ transformation non linéaire, non représentable par une matrice 3×3.

Problème d'encodage d'une chaine d'opérations

[+] Si uniquement linéaire: $r_1 \circ s \circ r_2 \rightarrow \mathrm{R}_1 \, \mathrm{S} \, \mathrm{R}_2 = \mathrm{M} \in M_3(\mathbb{R}^3)$

[−] Avec translation: $r_1 \circ tr \circ r_2$ contient deux composantes

- une linéaire $\mathrm{R}_1 \, \mathrm{R}_2 \in M_3(\mathbb{R}^3)$
- une translation $\mathrm{R}_1 \, tr \in \mathbb{R}^3$.

Possibilité d'avoir une représentation unifiée en utilisant une représentation 4D

$$p = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} \qquad \mathrm{M} = \begin{pmatrix} m_{00} & m_{01} & m_{02} & t_x \\ m_{10} & m_{11} & m_{12} & t_y \\ m_{20} & m_{21} & m_{22} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Transformations affine en 2D

Principe général en 2D (vecteurs unifiés à 3 composantes)

Pour un point $p = (x, y)$

$$\text{Rotation R} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix}, \quad \text{Scaling S} = \begin{pmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{pmatrix}, \quad \text{Translation } (x + t_x, y + t_y)$$

Idée - Ajouter une coordonnée supplémentaire $p = (x, y, 1)$ (coordonnées homogènes / generalisées).

Expression *linéaire* de la translation: $p' = \mathrm{T}\, p$, avec $p' = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\mathrm{T}} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x + t_x \\ y + t_y \\ 1 \end{pmatrix}$

Idem avec les rotations $\mathrm{R} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$, et scaling $\mathrm{S} = \begin{pmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$.

Coordonnées généralisées

Coordonnées généralisées en 2D:

Translation T, rotation R, scaling S peuvent être exprimées en produit de matrices

ex. $\mathrm{M} = T_0\, R_0\, S_0\, T_1\, R_1\, S_1\, \ldots$ $\quad \mathrm{M} = \left(\begin{array}{cc|c} m_{00} & m_{01} & t_x \\ m_{10} & m_{11} & t_y \\ \hline 0 & 0 & 1 \end{array}\right)$.

m_{ij} : partie linéaire (rotation and scaling); $t_{x/y}$: translation

Coordonnées généralisées en 3D

Vecteurs à 4-composantes, et matrices $\mathbf{4} \times \mathbf{4}$.

$p = (x, y, z, 1)$ - *position 3D*

$\mathrm{M} = \left(\begin{array}{ccc|c} m_{00} & m_{01} & m_{02} & t_x \\ m_{10} & m_{11} & m_{12} & t_y \\ m_{20} & m_{21} & m_{22} & t_z \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right)$ - *transformation affine générale (rotation, scaling, translation)*

On pourra écrire par bloc: $\mathrm{M} \begin{pmatrix} p \\ 1 \end{pmatrix} = \left(\begin{array}{c|c} \mathrm{L} & t \\ \hline 0 & 1 \end{array}\right) \begin{pmatrix} p \\ 1 \end{pmatrix} = \mathrm{L}\, p + t$

Points et vecteurs

Intérêt coordonnées généralisées: différentiation points/vecteurs

Point $(x, y, z, \mathbf{1})$

$$\mathrm{M} \begin{pmatrix} p \\ 1 \end{pmatrix} = \left(\begin{array}{c|c} \mathrm{L} & t \\ \hline 0 & 1 \end{array}\right) \begin{pmatrix} p \\ 1 \end{pmatrix} = \mathrm{L}\,p + t$$

La translation s'applique

Vecteur $(x, y, z, \mathbf{0})$

$$\mathrm{M} \begin{pmatrix} p \\ 0 \end{pmatrix} = \left(\begin{array}{c|c} \mathrm{L} & t \\ \hline 0 & 1 \end{array}\right) \begin{pmatrix} p \\ 0 \end{pmatrix} = \mathrm{L}\,p$$

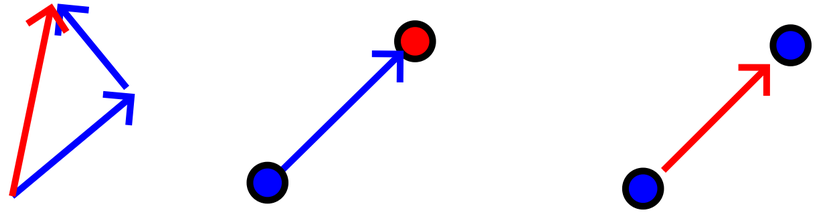
La translation ne s'applique pas

Cohérence avec opérations géométriques:

vecteur ± vecteur → vecteur

position ± vecteur → position

position - position → vecteur



Coordonnées homogènes, espace projectif

Cas d'un point généralisé avec coordonnées $w \neq 1$

$p_{4D} = (x, y, z, w) \Rightarrow$ "renormalization/projection" sur l'espace des points 3D: $p_{3D} = (x/w, y/w, z/w, 1)$

Ex.

- Somme de deux points: $(x_1, y_1, z_1, 1) + (x_2, y_2, z_2, 1) = (x_1 + x_2,\ y_1 + y_2,\ z_1 + z_2,\ 2)$

$\Rightarrow$ homogénéisation: $p_{3D} = \left(\frac{x_1+x_2}{2}, \frac{y_1+y_2}{2}, \frac{z_1+z_2}{2}, 1\right) \Rightarrow$ Barycentre

Intérêt: Encoder opérations rationnelles par une matrice

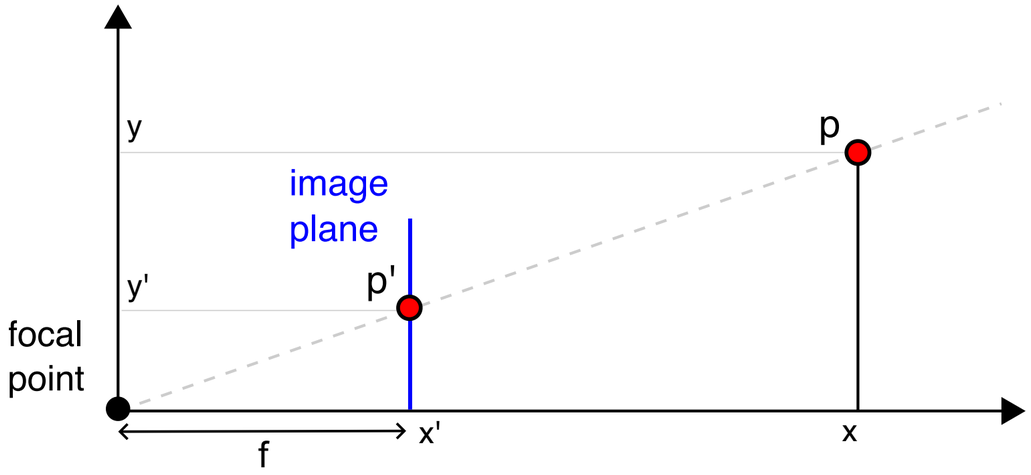
$$p_{4D} = \begin{pmatrix} m_{00} & m_{01} & m_{02} & m_{03} \\ m_{10} & m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{20} & m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{30} & m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{00}\,x + m_{01}\,y + m_{02}\,z + m_{03}\,w \\ m_{10}\,x + m_{11}\,y + m_{12}\,z + m_{13}\,w \\ m_{20}\,x + m_{21}\,y + m_{22}\,z + m_{23}\,w \\ m_{30}\,x + m_{31}\,y + m_{32}\,z + m_{33}\,w \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow p_{3D} = \begin{pmatrix} \dfrac{m_{00}\,x + m_{01}\,y + m_{02}\,z + m_{03}\,w}{m_{30}\,x + m_{31}\,y + m_{32}\,z + m_{33}\,w} \\ \dfrac{m_{10}\,x + m_{11}\,y + m_{12}\,z + m_{13}\,w}{m_{30}\,x + m_{31}\,y + m_{32}\,z + m_{33}\,w} \\ \dfrac{m_{20}\,x + m_{21}\,y + m_{22}\,z + m_{23}\,w}{m_{30}\,x + m_{31}\,y + m_{32}\,z + m_{33}\,w} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Application à la perspective

Perspective modélisé par une division par la profondeur

Exemple en 2D (projection 1D)



$$y' = x' \frac{y}{x} = f \frac{y}{x} \quad (f\text{: focale})$$

Modèle *linéaire*:

$$p' = \begin{pmatrix} f \\ f\frac{y}{x} \\ 1 \end{pmatrix} \Rightarrow p' = \begin{pmatrix} fx \\ fy \\ x \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_{\mathrm{P}} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} p$$

Espace projectif

- Points *réels* (2D | 3D) sont sur $z|w = 1$

  Coordonnées réelles des points sont obtenues après homogénéisation (division by dernière composante).

- Vecteurs sont sur $z|w = 0$

Introduction à l'Informatique Graphique

- Généralités
- Concepts d'une scène 3D
- Coordonnées généralisées
- **OpenGL et notion de Shaders**

CPU et GPU

CPU: Central Processing Unit

Mémoire associée: RAM

⇒ Tâches arbitraires séquentielles:

Calcul, branching, accès mémoires, I/O, etc.

Coeurs: 2 à 64, indépendants

RAM: 4 à 64 Go

GPU: Graphics Processing Unit

Mémoire associée: VRAM

⇒ Tâches parallèles avec opérations similaires:

Calculs vectoriels, matriciels sur tableaux de données.

Architecture: SIMD

Single Instruction, Multiple Data

Coeurs: 1000 à 16000, partagés

VRAM: 4 à 16 Go

GPU: Supercalculateur pour réaliser la même opération sur un grand nombre de données.

OpenGL

OpenGL: Open Graphics Library

Une API pour communiquer avec le GPU, orienté graphique 3D

API: Application Programming Interface = Ensemble standardisé de variables et en-tête de fonctions.

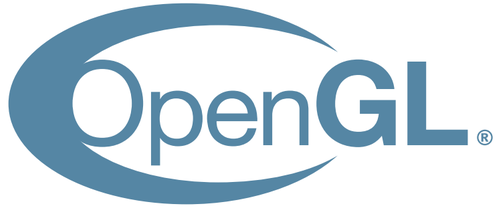
Bas niveau, Haute performance, Multi plateformes

Rem.

API $\neq$ logiciel, librairie

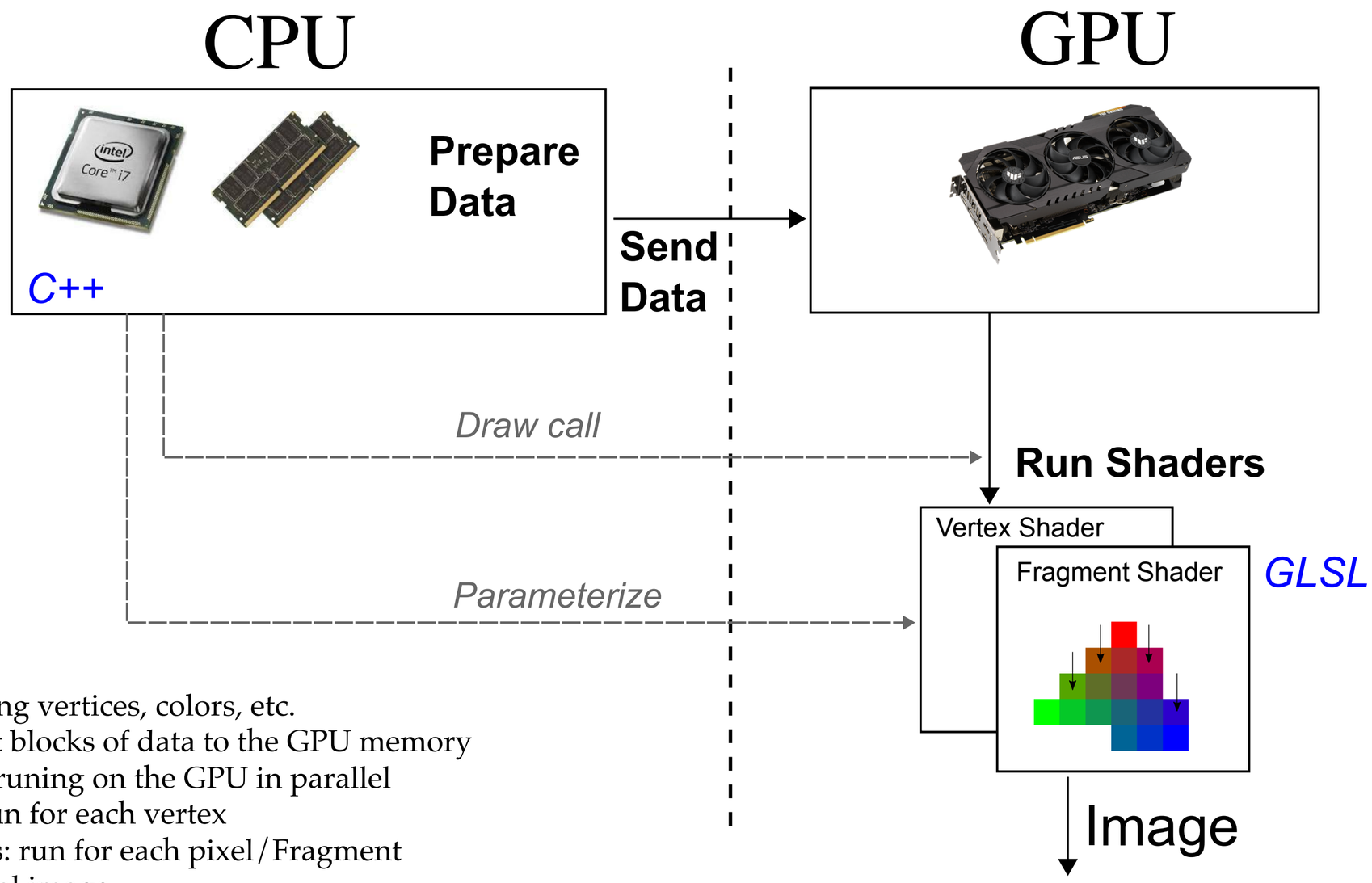
Différents systèmes/GPU ont différentes implémentations d'OpenGL

Installation dépend du driver



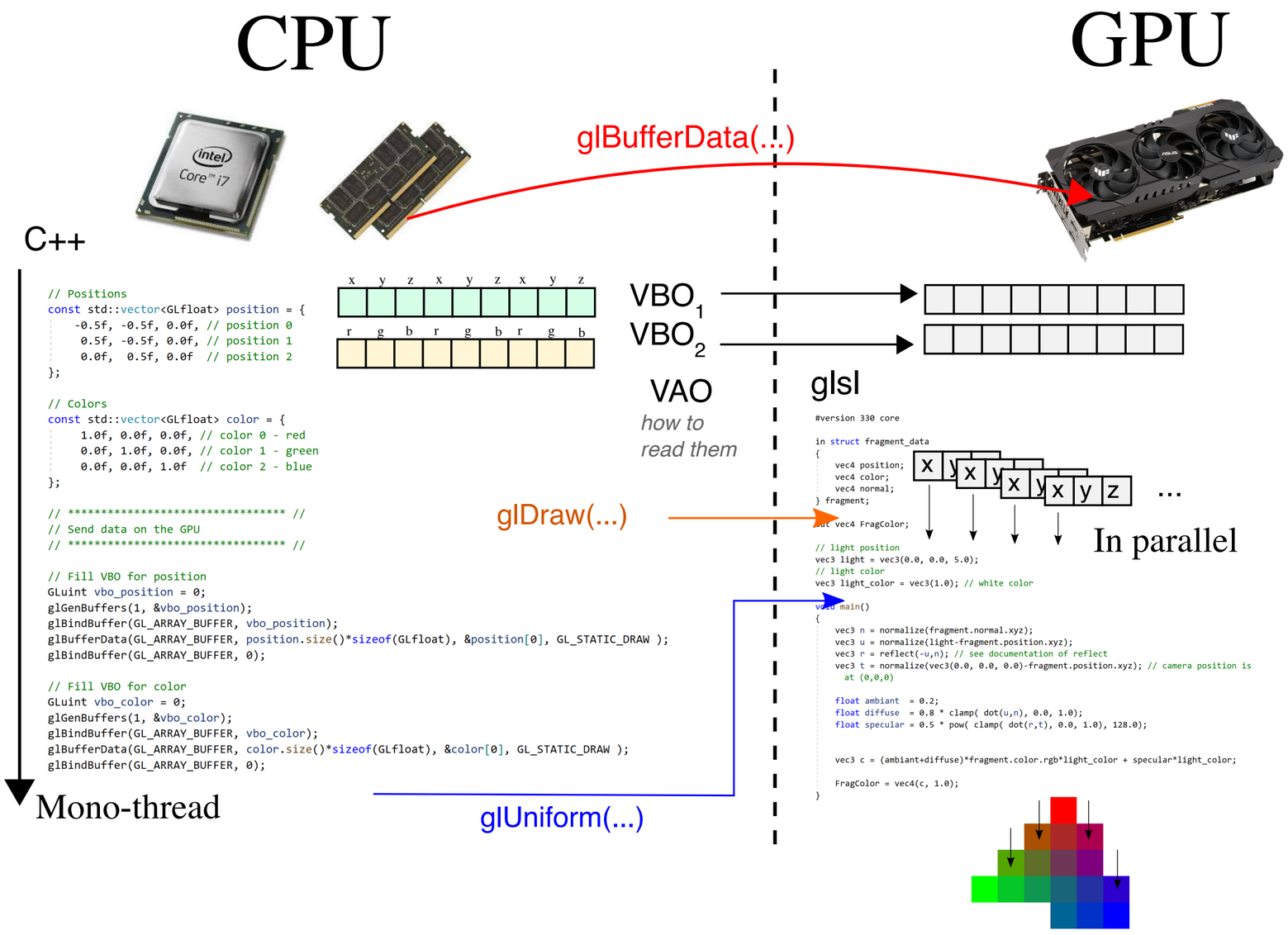
Autres APIS: Vulkan, WebGL, WebGPU, DirectX (Windows), Metal (Mac).

Communication CPU/GPU with OpenGL



1- Preparing the data:
Loading/Computing vertices, colors, etc.
2- Send data: Transfert blocks of data to the GPU memory
3- Shaders: Programs runing on the GPU in parallel
- Vertex shaders: run for each vertex
- Fragment shaders: run for each pixel/Fragment
Output: The final image

Communication CPU/GPU with OpenGL - details




```
// Positions
const std::vector<GLfloat> position = {
    -0.5f, -0.5f, 0.0f, // position 0
     0.5f, -0.5f, 0.0f, // position 1
     0.0f,  0.5f, 0.0f  // position 2
};

// Colors
const std::vector<GLfloat> color = {
     1.0f, 0.0f, 0.0f, // color 0 - red
     0.0f, 1.0f, 0.0f, // color 1 - green
     0.0f, 0.0f, 1.0f  // color 2 - blue
};

// ********************************* //
// Send data on the GPU
// ********************************* //

// Fill VBO for position
GLuint vbo_position = 0;
glGenBuffers(1, &vbo_position);
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vbo_position);
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, position.size()*sizeof(GLfloat), &position[0], GL_STATIC_DRAW );
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);

// Fill VBO for color
GLuint vbo_color = 0;
glGenBuffers(1, &vbo_color);
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vbo_color);
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, color.size()*sizeof(GLfloat), &color[0], GL_STATIC_DRAW );
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);
```

```
#version 330 core

in struct fragment_data
{
    vec4 position;
    vec4 color;
    vec4 normal;
} fragment;

out vec4 FragColor;

// light position
vec3 light = vec3(0.0, 0.0, 5.0);
// light color
vec3 light_color = vec3(1.0); // white color

void main()
{
    vec3 n = normalize(fragment.normal.xyz);
    vec3 u = normalize(light-fragment.position.xyz);
    vec3 r = reflect(-u,n); // see documentation of reflect
    vec3 t = normalize(vec3(0.0, 0.0, 0.0)-fragment.position.xyz); // camera position is
      at (0,0,0)

    float ambiant  = 0.2;
    float diffuse  = 0.8 * clamp( dot(u,n), 0.0, 1.0);
    float specular = 0.5 * pow( clamp( dot(r,t), 0.0, 1.0), 128.0);


    vec3 c = (ambiant+diffuse)*fragment.color.rgb*light_color + specular*light_color;

    FragColor = vec4(c, 1.0);
}
```

Shader

Vertex Shader

```
#version 330 code
layout(location = 0) in vec4 position;
layout(location = 1) in vec4 color;

out vec4 vertexColor;

void main()
{
    gl_Position = position;
    vertexColor = color;
}
```

Fragment Shader

```
#version 330 code
in vec4 vertexColor;
out vec4 fragColor;

void main()
{
    fragColor = vertexColor;
}
```