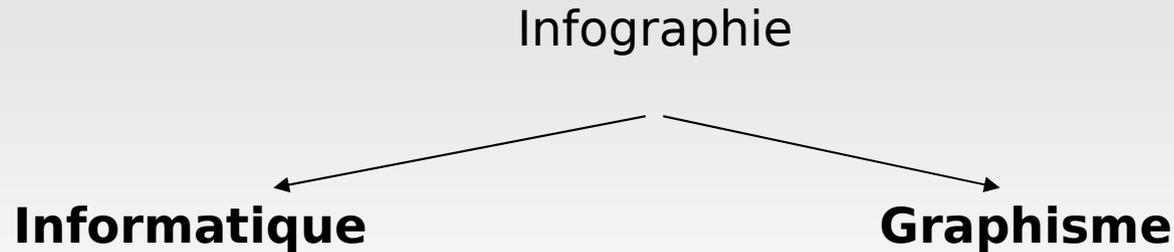


Modélisation Géométrique et Synthèse d'Images

Modélisation Géométrique: les représentations

Marc NEVEU
Bureau G210
Marc.Neveu@u-bourgogne.fr

Introduction



Produit final : image de synthèse.

Ensemble de méthodes et techniques permettant de représenter des objets plus ou moins complexes pour créer et manipuler des images synthétiques.

Historique

Naissance aux États-Unis au début des années 50.
Recherche scientifique

SKETCHPAD (1963): interface graphique

Système graphique (Écran à tube cathodique + Crayon optique)

Invention du curseur pour définir la position du crayon

Début des années 80 : L'infographie prend du terrain.

Apparition des ordinateurs personnels.

Début des années 90 :

Images en temps réel.

Jeux vidéos.

« Vrai » 3D.

Quelques jalons :

1979 : James H. Clark : 1er processeur programmable dédié au 3D

1982 : création de Silicon Graphics, d'Adobe et d'AutoDesk

1984 : premiers travaux sur la radiosité à Cornell University

1985 : création de ATI : conception de circuits intégrés graphiques

1987 : création de la 1ère carte graphique, Marching Cubes

1992 : OpenGL 1.0

1993 : création de NVIDIA, Jurassic park

1994 : standard VRML

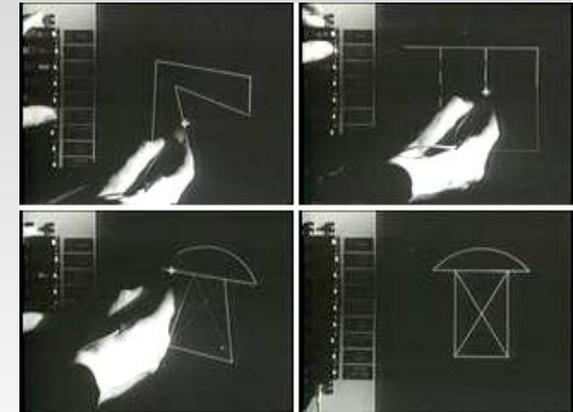
1996 : Microsoft lance DirectX

1997 : Sun lance Java 3D

1998 : logiciel Alias Maya

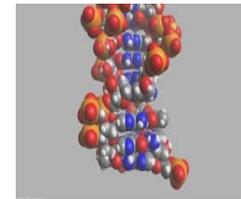
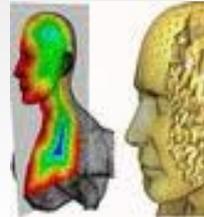
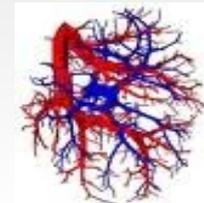
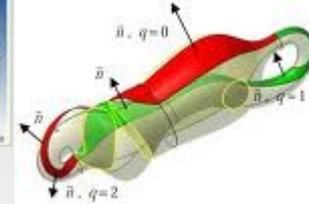
2007 : Spécifications d'OpenGL 3.0

Etc.....

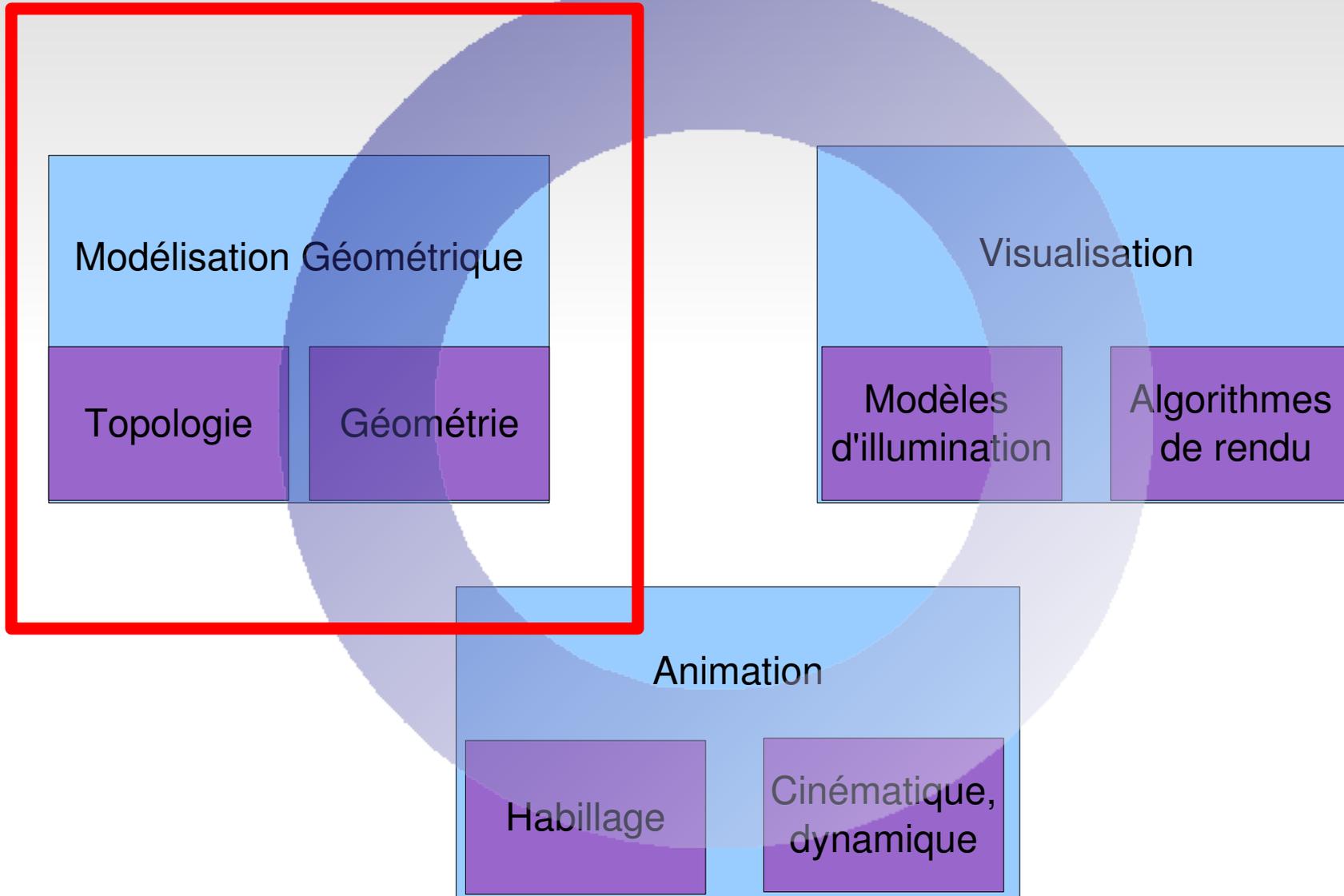


Champs d'applications

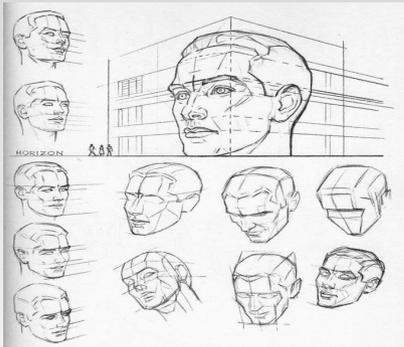
Dessin et conception assistés par ordinateur
Construction et Tracé de courbes et surfaces interactives
Interfaces utilisateurs
Cartographie
Médecine, chirurgie assistée par ordinateur
Système multimédia
Simulation et visualisation pour la vie scientifique
Production audiovisuelle, jeux video, serious games
Construction mécanique
.....



Opérations



PipeLine Graphique



Modèle
de la
scène
(3D)

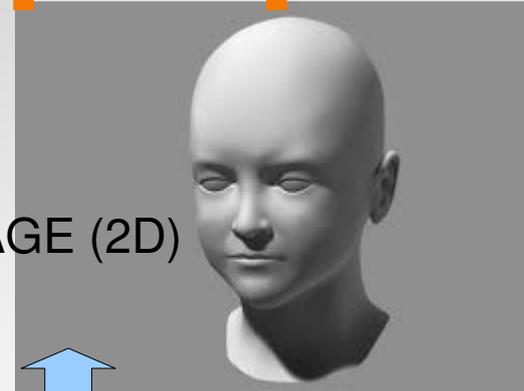


IMAGE (2D)

Transformation de
Modélisation

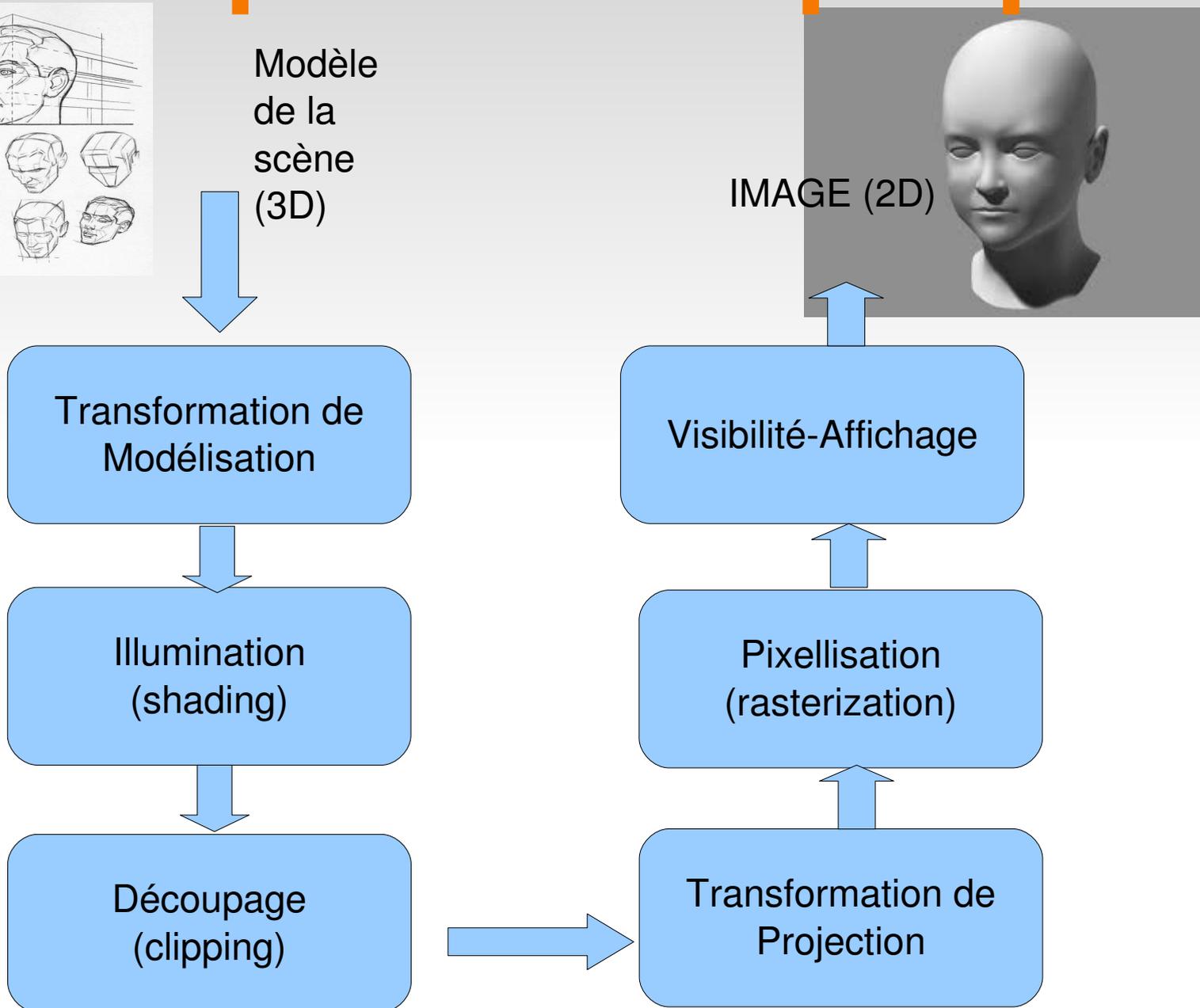
Illumination
(shading)

Découpage
(clipping)

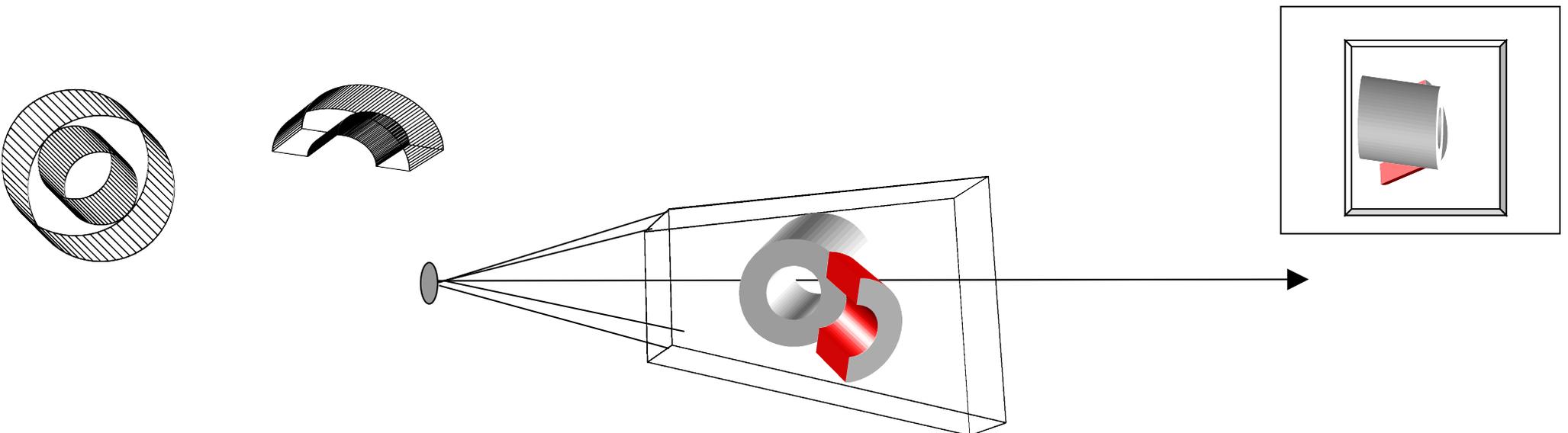
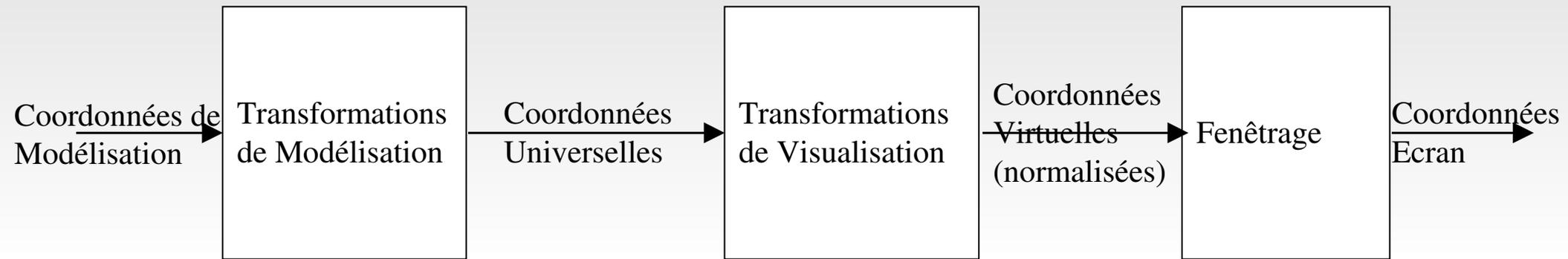
Visibilité-Affichage

Pixellisation
(rasterization)

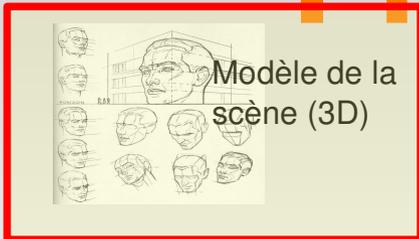
Transformation de
Projection



Les espaces de coordonnées



PipeLine Graphique



Transformation
de
Modélisation

Illumination
(shading)

Découpage
(clipping)

Transformation
de Projection

Pixellisation
(rasterization)

Visibilité-
Affichage

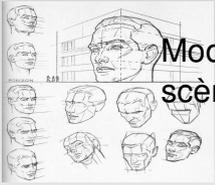
Choix du type de représentation

- Adapté aux objets
- Aux besoins
- Pour manipulation, interaction, animation, visualisation, etc....
- Par les bords, volumique, surfacique



IMAGE
(2D)

PipeLine Graphique



Modèle de la scène (3D)

Transformation de Modélisation

Illumination (shading)

Découpage (clipping)

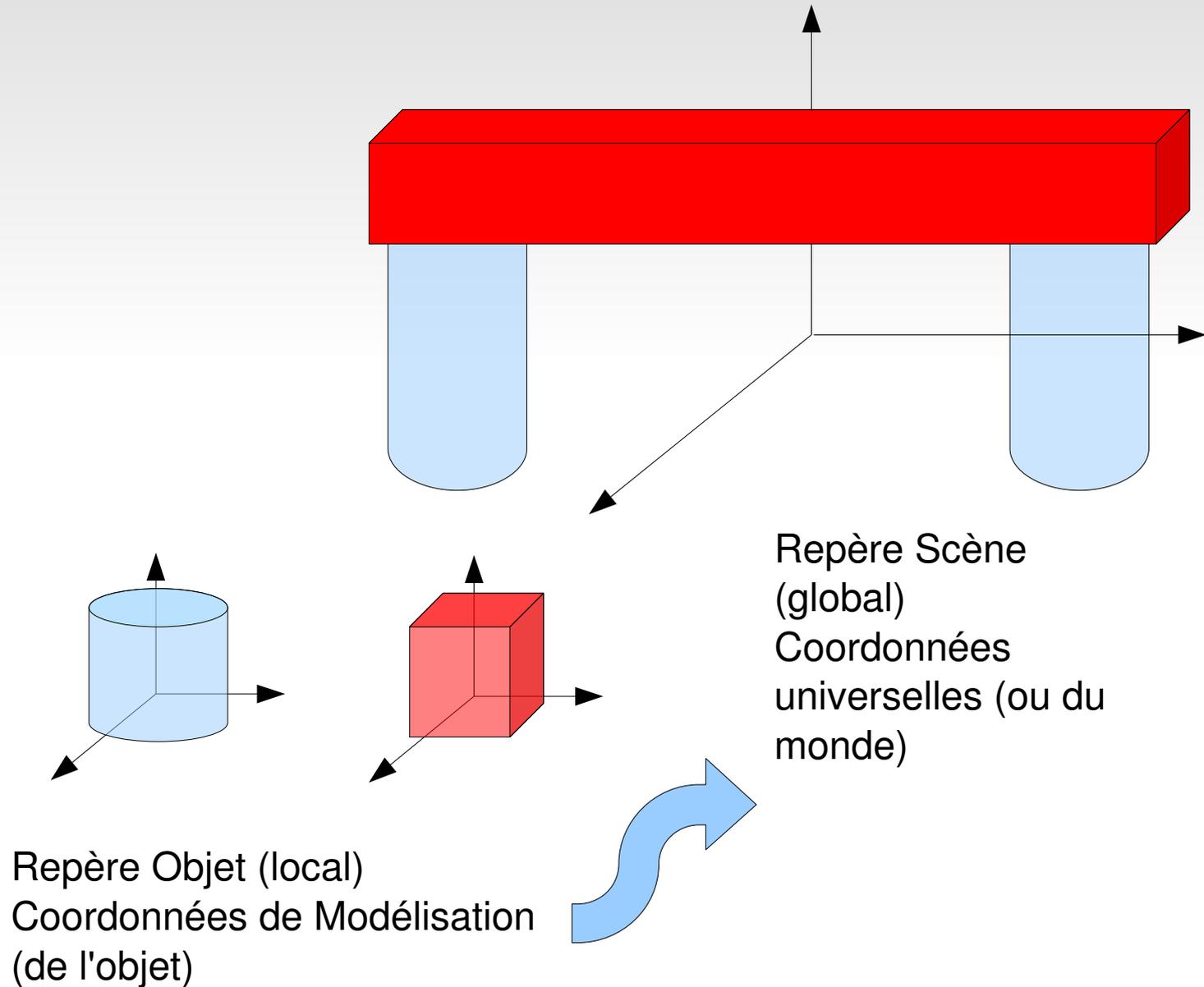
Transformation de Projection

Pixellisation (rasterization)

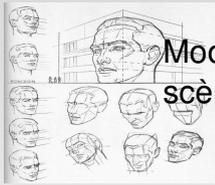
Visibilité-Affichage



IMAGE (2D)



PipeLine Graphique



Modèle de la scène (3D)

Transformation de Modélisation

Illumination (shading)

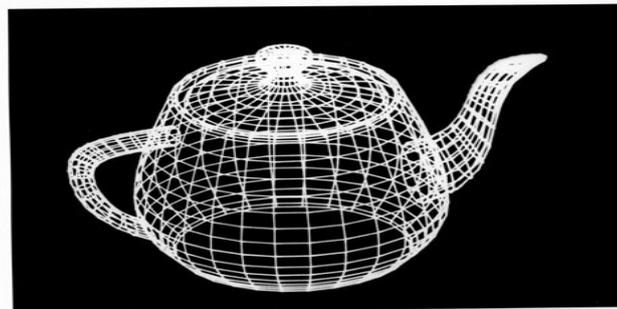
Découpage (clipping)

Transformation de Projection

Pixellisation (rasterization)

Visibilité-Affichage

- Les primitives sont éclairées selon leur matériau, le type de surface et les sources de lumière
- Les modèles d'illumination sont locaux (calcul effectué par primitive)

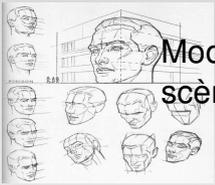


University of Utah
Computer Science



IMAGE (2D)

PipeLine Graphique



Modèle de la scène (3D)

Transformation de Modélisation

Illumination (shading)

Découpage (clipping)

Transformation de Projection

Pixellisation (rasterization)

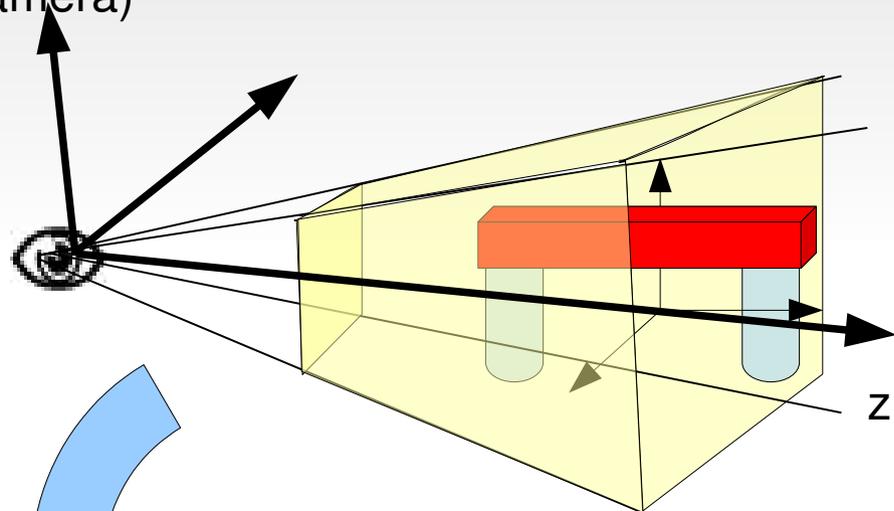
Visibilité-Affichage



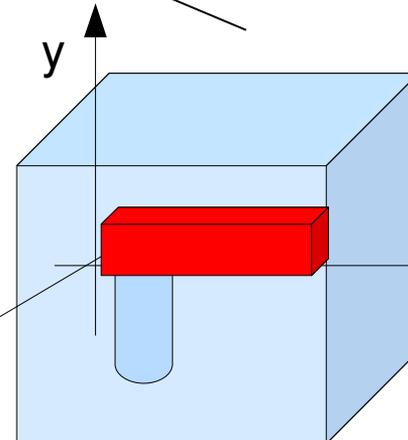
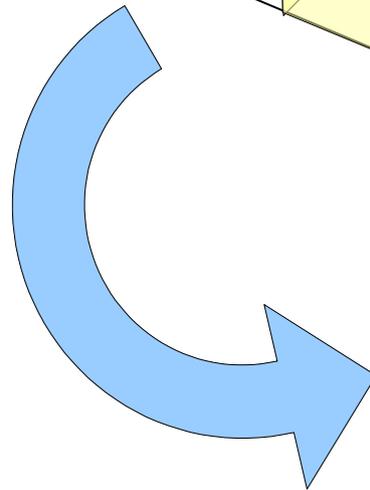
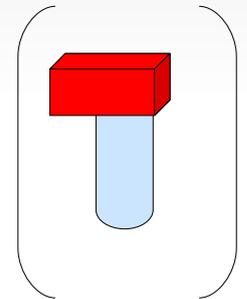
IMAGE (2D)

Coordonnées virtuelles (de l'oeil, de la caméra)

Coordonnées universelles

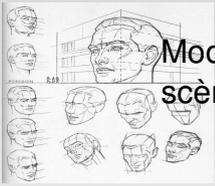


Découpage



Coordonnées Normalisées (NDC)

PipeLine Graphique



Modèle de la scène (3D)

Transformation de Modélisation

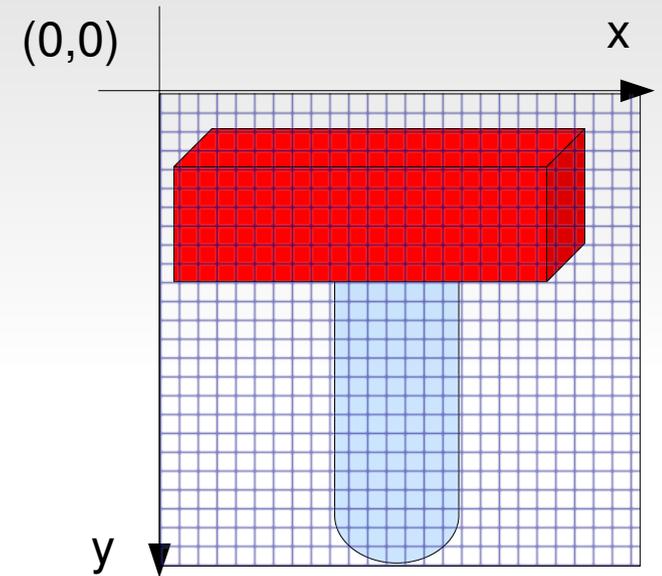
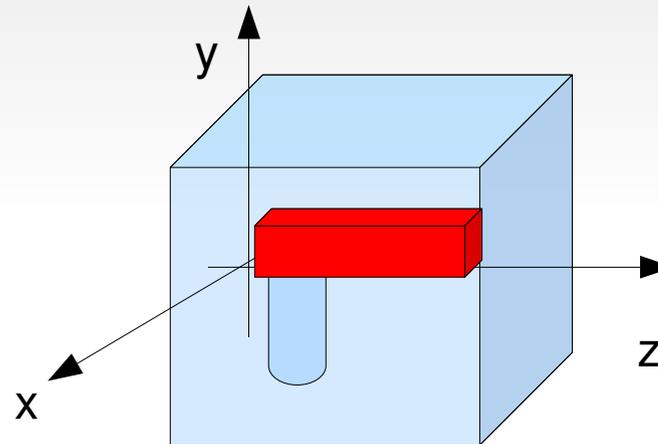
Illumination (shading)

Découpage (clipping)

Transformation de Projection

Pixellisation (rasterization)

Visibilité-Affichage

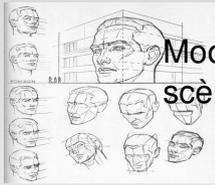


Projection 3D (NDC) → vers espace écran 2D



IMAGE (2D)

PipeLine Graphique



Modèle de la scène (3D)

Transformation de Modélisation

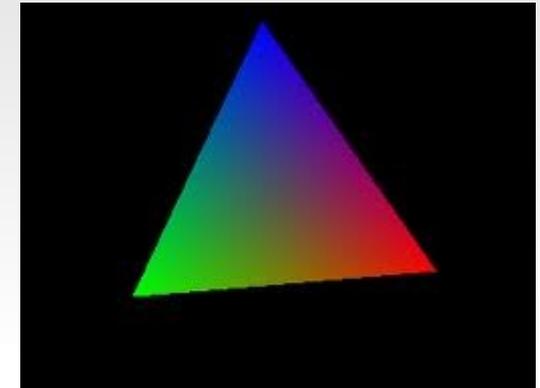
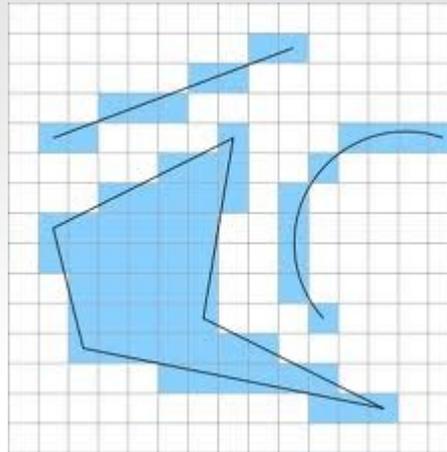
Illumination (shading)

Découpage (clipping)

Transformation de Projection

Pixellisation (rasterization)

Visibilité-Affichage

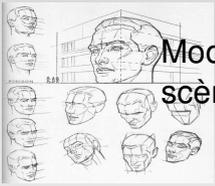


- Découpe des primitives 2D en pixels
- Interpole les valeurs connues aux sommets : couleur, profondeur, etc. pour chaque fragment affiché



IMAGE (2D)

PipeLine Graphique



Modèle de la scène (3D)

Transformation de Modélisation

Illumination (shading)

Découpage (clipping)

Transformation de Projection

Pixellisation (rasterization)

Visibilité-Affichage

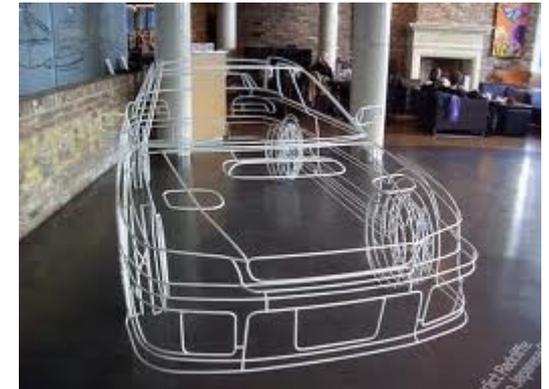
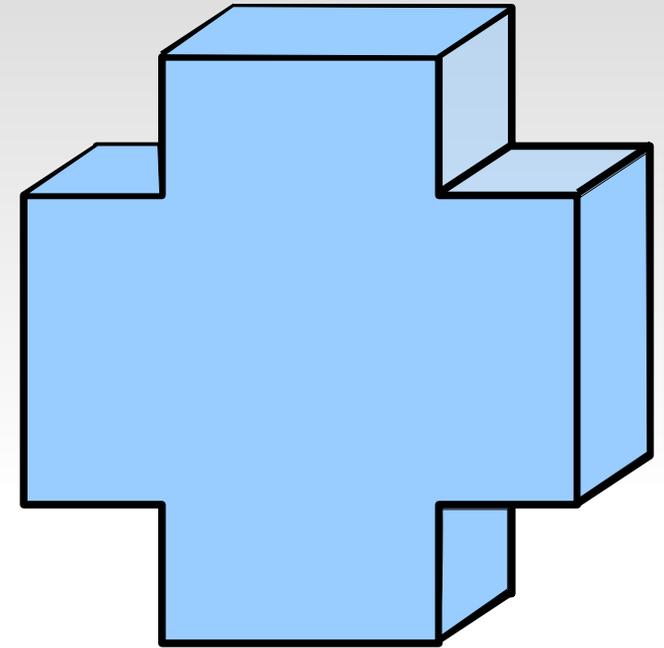
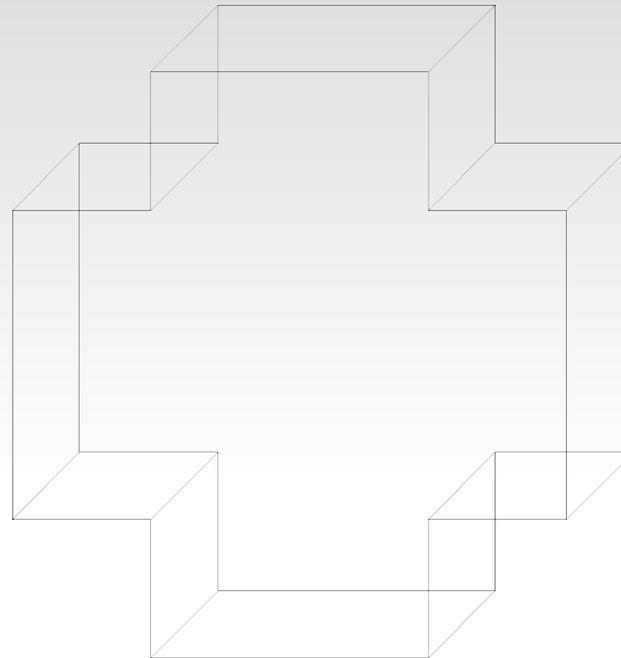
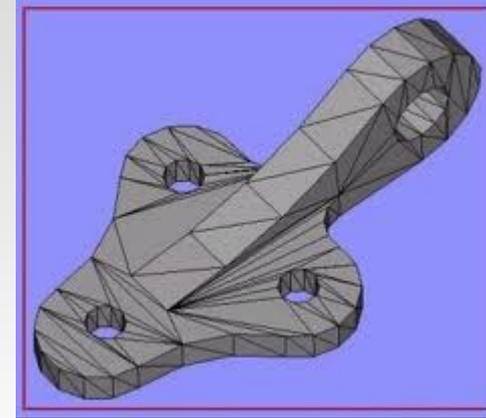


IMAGE (2D)

Les représentations

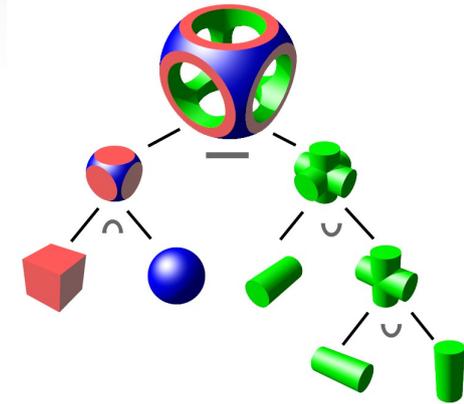
Par les bords

Seuls les sommets, les arêtes et les faces d'un objet sont représentés. (*Polyèdres*)



Volumique

Les objets sont représentés par leurs caractéristiques ou par voxels. (*Solides*)

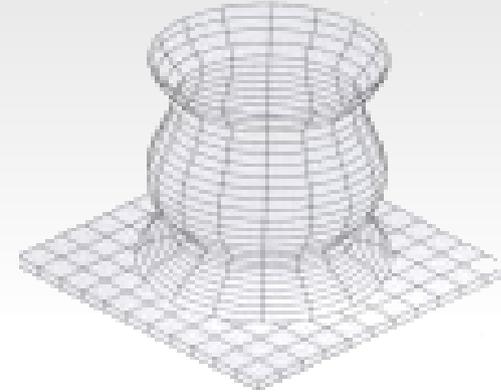
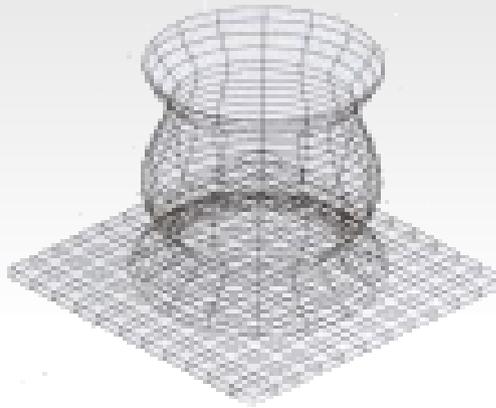


Surfacique

Notion de surface. (*carreaux de surface* ou « *Patches* »)



Par les bords



Souvent **Visualisation « fil de fer »**
représentation <> visualisation

Représentation par les Bords

Brep (Boundary Representation)

Un volume est délimité par sa surface extérieure décrite sous la forme d'un ensemble de faces ou de morceaux de surface,

définis par des ensembles de segments de droites ou de courbes,

eux-mêmes définis par des points (et/ou des équations).

Représentation par les Bords

union d'un ensemble de faces ou de morceaux de surface.

$$BRep = \bigcup_i F_i$$

Ces faces et ces morceaux de surface sont des représentants de surfaces de base telles que plans, cylindre, NURBS, etc.

$$F_i \in S = \{ \Pi_i, \dots, N_i \}$$

Représentation par les Bords

Chaque face ou morceau de surface doit vérifier :

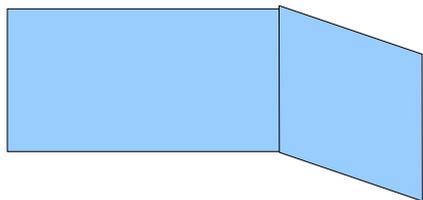
Une face ou un morceau de surface d'un objet est un sous-ensemble de la frontière de l'objet.

$$F_i \subset \partial(O)$$

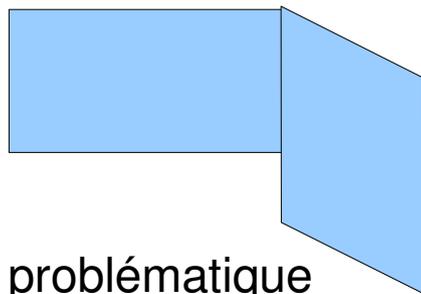
L'union de toutes les faces ou des morceaux de surface constitue la frontière de l'objet.

$$\cup_i F_i = \partial(O)$$

Une face ou un morceau de surface doit avoir une aire non nulle et ne pas comporter d'arêtes ballantes ou de points isolés.



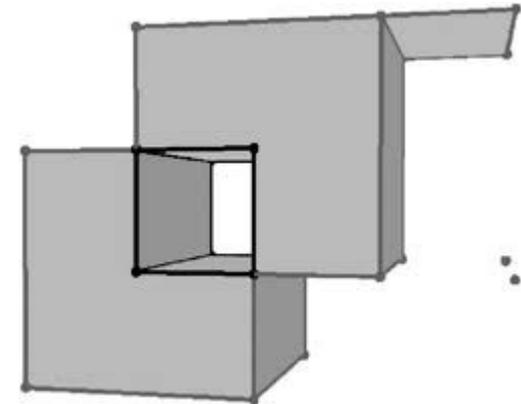
OUI



problématique



NON



Représentation par les Bords

Avantages :

Description naturelle

Transformations géométriques
simples

Visualisation aisée

Inconvénients :

Opérations de composition
délicates

Validation difficile

Absence d'algorithmes
généraux (sauf pour les
facettes planes)

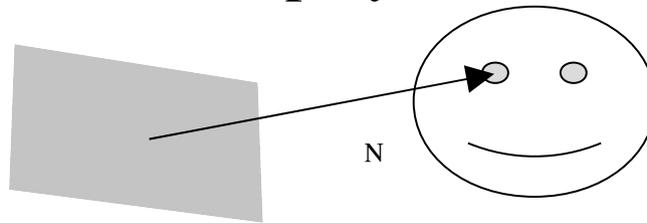
Ex : polyèdre

Un polyèdre est défini par ses faces. $\mathcal{P} = \bigcup_i F_i$

Chaque face est un polygone = liste ordonnée de ses sommets ou de ses côtés.

$$F_i = P_i = \{v_0, v_1, \dots, v_n\} \text{ ou } \{e_0, e_1, \dots, e_n\}$$

intérieur \leftrightarrow extérieur : sommets des faces dans le sens trigonométrique lorsque la face est vue de l'extérieur du polyèdre.



Ou plan de la face = (a, b, c, d) représentant l'équation du plan Π_i

Soit $P=(x, y, z)$ un point de E^3 .

$$P \in \Pi_i \Leftrightarrow ax + by + cz + d = 0$$

P est extérieur $\Leftrightarrow ax + by + cz + d > 0$ (par exemple)

P est intérieur $\Leftrightarrow ax + by + cz + d < 0$

Comparaison de quelques représentations (pour le cube)

Structure 1 :

$$M = 6 * 4 * 3 = 72$$

$$F = ((x_1, y_1, z_1), \dots, (x_n, y_n, z_n))$$

Structure 2 :

$$M = 6 * 4 + 8 * 3 = 48$$

$$F = (V_1, V_2, \dots, V_n) \quad V = (x, y, z)$$

Structure 3 :

$$M = 6 * 4 + 12 * 2 + 8 * 3 = 72$$

$$F = (E_1, E_2, \dots, E_n), \quad E = (V_1, V_2) \quad V = (x, y, z)$$

Structure 4 :

$$M = 6 * 4 + 12 * 4 + 8 * 3 = 96$$

$$F = (E_1, E_2, \dots, E_n), \quad E = (V_1, V_2, F_1, F_2), \quad V = (x, y, z)$$

Sommet-Sommet

$V = ((x, y, z), V_1, \dots, V_n)$ $V_i = \text{incident}$

Cube : $V = ((x, y, z), V_1, V_2, V_3)$

$M = 8 * 6$

Information sur faces et arêtes implicite \Rightarrow parcours
des données pour créer une liste de faces

Operations sur arêtes et faces difficiles

Face-Sommet

$$F=(V_1, V_2, \dots, V_n)$$

$$V=((x, y, z), F_1, F_2, \dots, F_p)$$

$$\text{Cube : } M= 6*4+8*6= 72$$

Donnée explicite des sommets d'une face, et des faces partageant un sommet

Liste de faces pour rendu

Arêtes implicites => recherche pour trouver les faces entourant une face donnée

Winged Edge

Winged Edge

$$F = (E_i)$$

$$E = (V_1, V_2, CW, CCW)$$

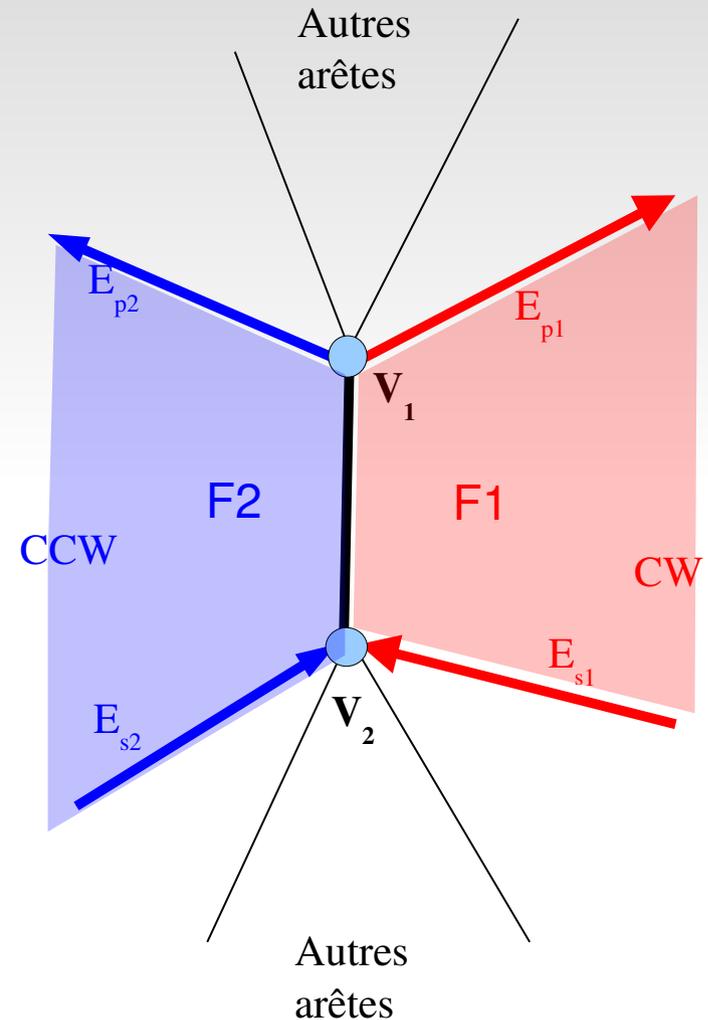
$$CW = (F_1, E_{s1}, E_{p1})$$

$$CCW = (F_2, E_{s2}, E_{p2})$$

$$V = (E_i, x, y, z)$$

$$M_{\text{cube}} = 6 * 4 + 12 * 8 + 8 * 6 = 168$$

Tout est explicite



Euler, polyèdre simple

Soit $V = \# \text{sommets}$, $E = \# \text{arêtes}$, $F = \# \text{faces}$

Polyèdre simple : $V - E + F = 2$

ex: tétraèdre $V=4, E=6, F=4 \rightarrow V - E + F = 2$

Poincaré = Euler généralisé à $\text{dim} \geq 3$.

points, côtés, faces \rightarrow éléments de $\text{dim } 0, 1, 2, \dots, n-1$.

Leur nombre est N_0, N_1, \dots, N_{n-1} .

Relation

$$N_0 - N_1 + N_2 - N_3 + \dots = 1 - (-1)^n$$

Euler, autres polyèdres

n = nombre de connectivité = # max de chemins fermés (boucles) distincts sur la surface d'un polyèdre ne séparant pas le polyèdre en deux régions.

Ex : si la surface d'un polyèdre peut être divisée en deux régions par une boucle définie par les côtés des polygones définissant les faces alors $n=0$ (polyèdre simple).

Ex : $n_{\text{sphère}} = 0$ et $n_{\text{tore}} = 2$

g = genre de l'objet = # d'anses accolées à une sphere = #trous
: $n=2g$

$$\mathbf{n = -V + E - F + 2 \text{ ou } V - E + F = 2 - 2g}$$

Volumique

Objet = nom d'une famille + ensemble de paramètres

ex : (Sphère ,{centre, rayon}), (Boite,{largeur, longueur, hauteur}),
(Cylindre,{C1,R1,C2,R2})



Mémoire.

Objets exacts.



Pas d'opérations booléennes génériques

Composition Arborescente de Solides

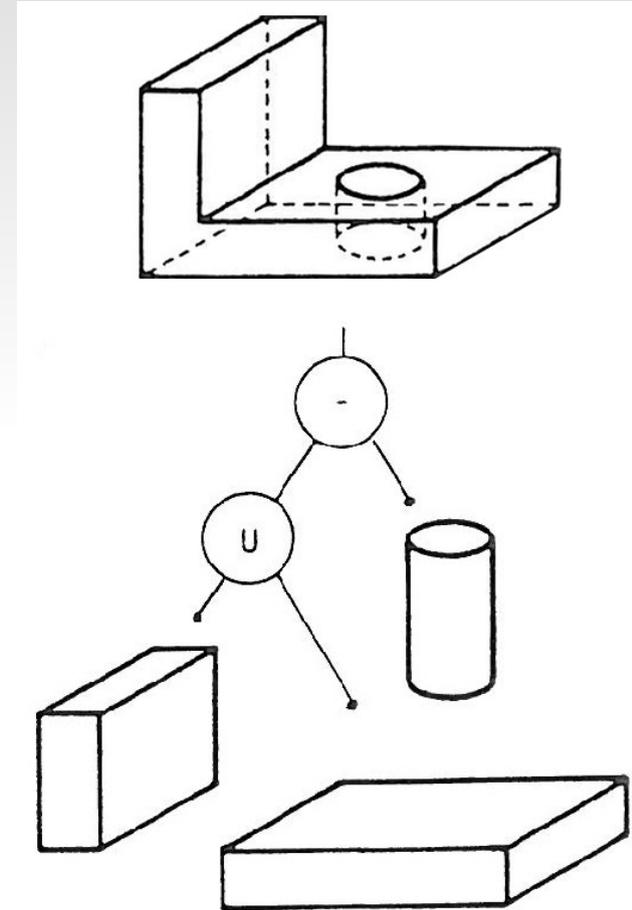
Constructive Solid Geometry (CSG)

- Objet = nom d'une famille + ensemble de paramètres

ex : (Sphère ,{centre, rayon}), (Boite,{largeur, longueur,hauteur}), (Cylindre,{C1,R1,C2,R2})

ex : (SphèreUnité ,Xfos), (CubeUnité ,Xfos), (CylindreUnité ,Xfos)

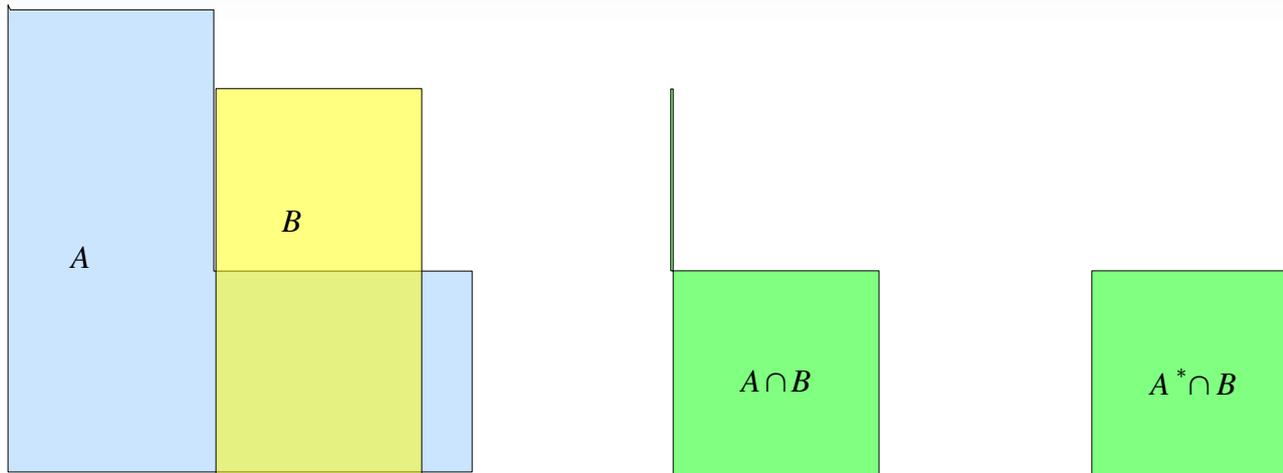
- Assemblage à l'aide de transformations géométriques et d'opérations de composition
- > arbre binaire (*arbre CSG*)



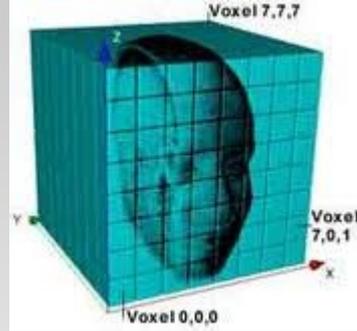
Opérations Régularisées

- Pb de consistance :

$$\{ \cap, \cup, \setminus \} \rightarrow \{ {}^* \cap, {}^* \cup, {}^* \setminus \}$$



Enumération spatiale



Volume = liste de cellules occupées par le volume dans l'espace.

Le plus souvent cellules de taille fixe appelés voxels (volume elements).

Voxel représenté par les coordonnées d'un point P particulier

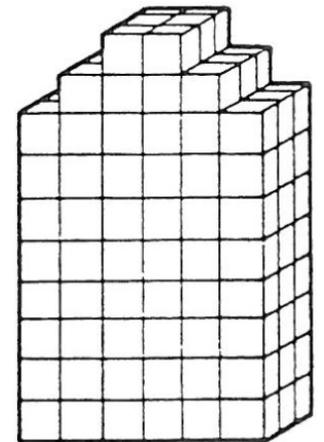
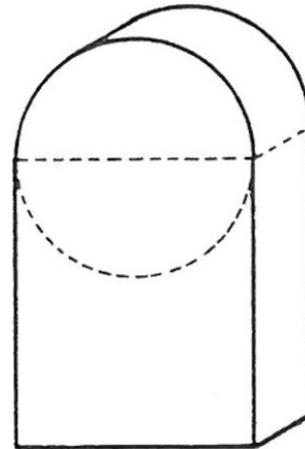
Volume= tableau [ordonné] de (x_i, y_i, z_i) appelé tableau spatial.



simple à obtenir, opérations booléennes

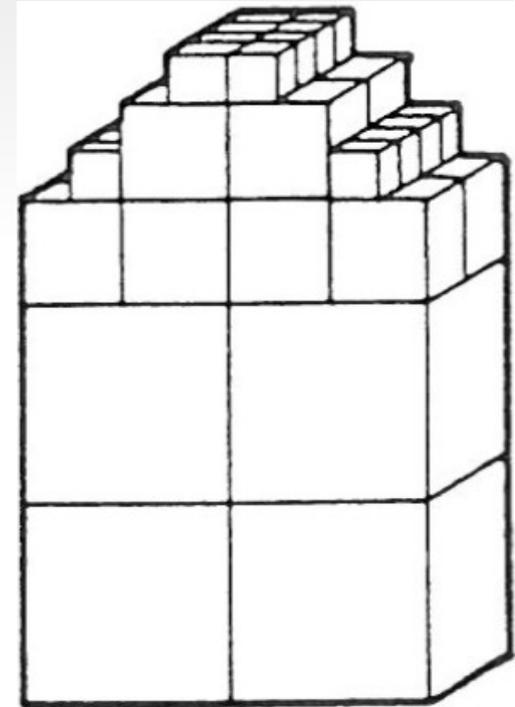
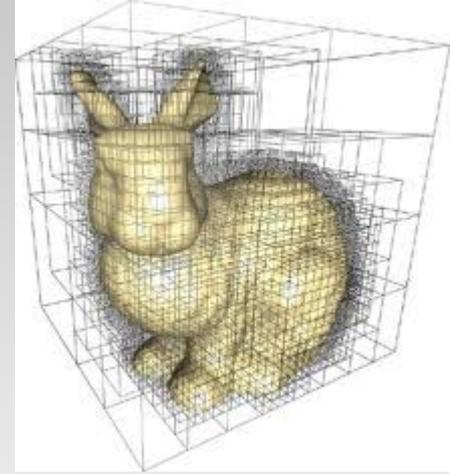


précision, place en mémoire.



Arbres Octaux

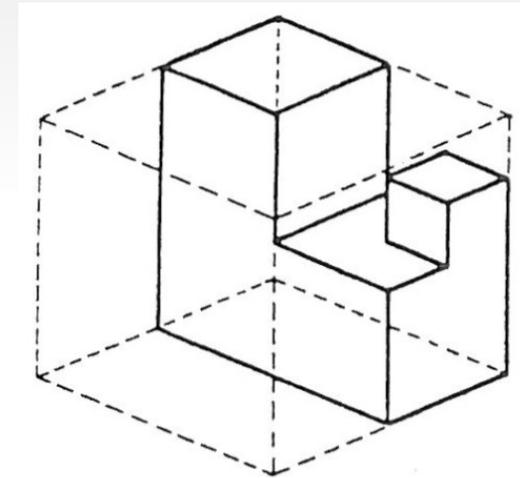
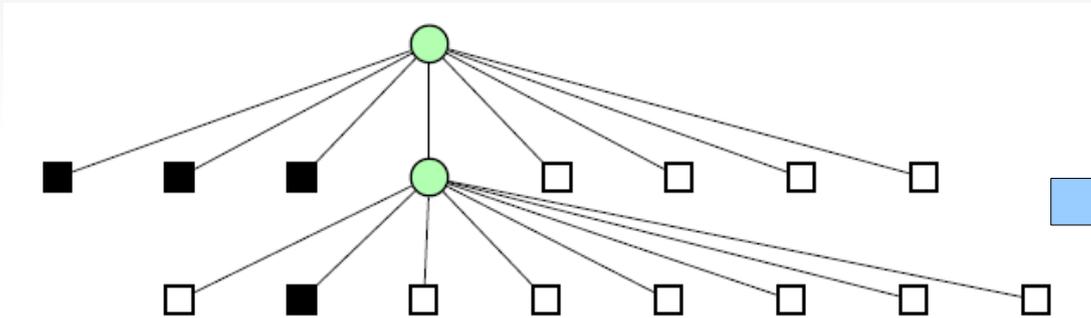
- amélioration : arbre octal ou "octree"
["quadtree" en 2D] = hiérarchie de cubes de tailles variables.
- volume = arbre
- racine = boîte englobante de l'espace de travail
- nœud \leftrightarrow type (plein, vide ou indéterminé)
- indéterminé \rightarrow subdivision en 8 \rightarrow 8 fils
- arrêt : plus de nœuds de type indéterminé ou niveau max dans l'arbre.



composition arbre octal & arbre CSG

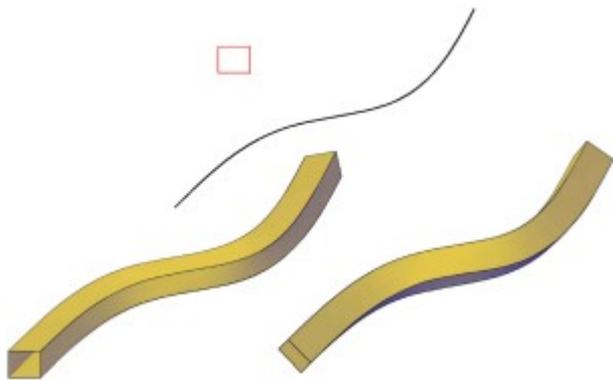
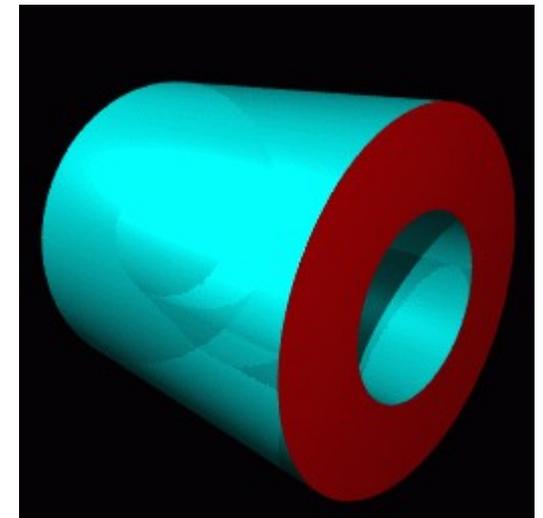
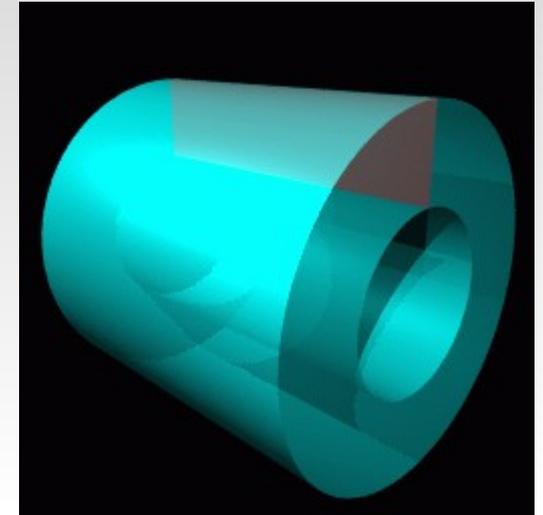
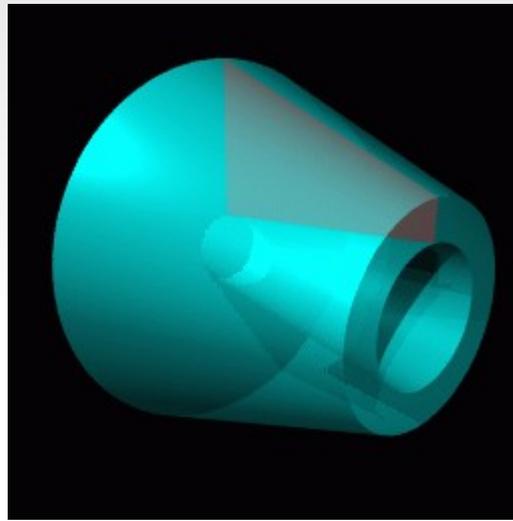
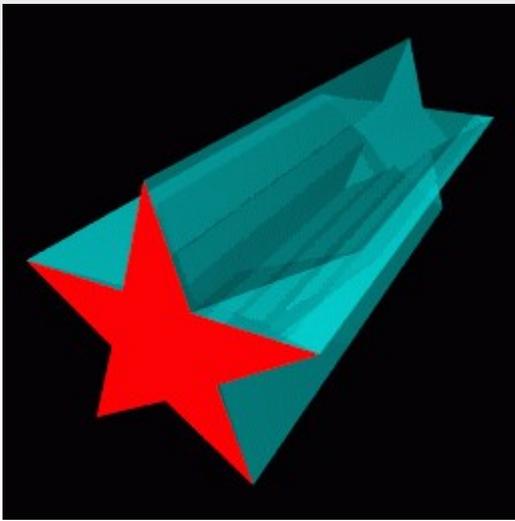
Arbres Octaux

- Exemple d'octree



Balayage

- solide = objet + trajectoire

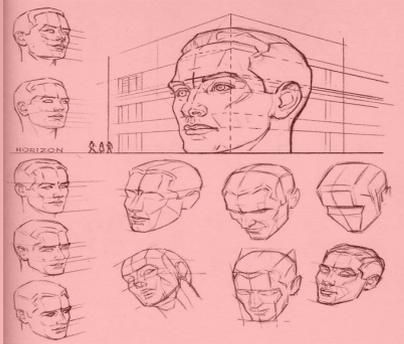


Extrusion

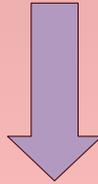
Révolution

Au choix

Retour au PipeLine Graphique



Modèle de la scène (3D)



Transformation de Modélisation

Illumination (shading)

Découpage (clipping)



Visibilité-Affichage

Pixellisation (rasterization)

Transformation de Projection

IMAGE (2D)

