

Chapitre 6 : Représentation des objets 3D

Modélisation 3D et Synthèse

Fabrice Aubert
fabrice.aubert@lifl.fr



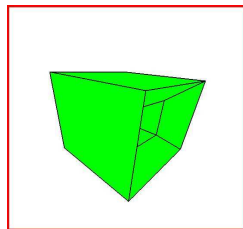
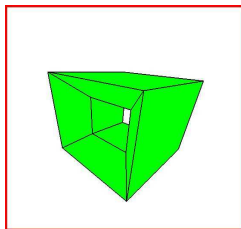
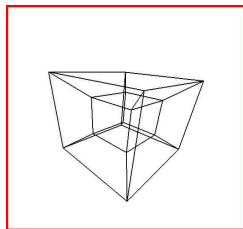
IEEA - Master Info - Parcours IVI

2012-2013

1 Introduction

Critères à considérer

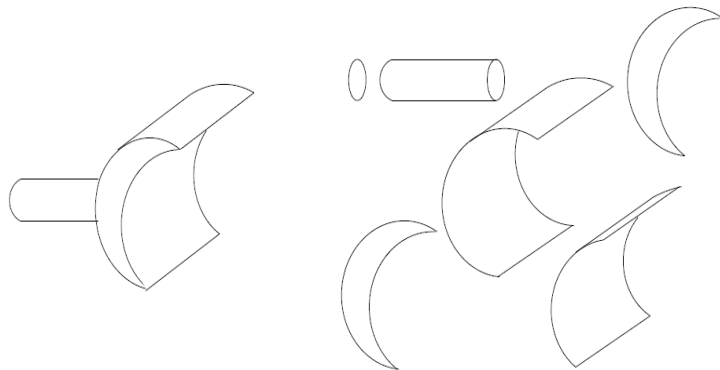
- ▶ Prendre un modèle pertinent : déterminer les opérations/propriétés nécessaires et suffisantes (exemple : ne pas représenter explicitement l'intérieur d'un volume si inutile).
- ▶ Généricité, Interactivité (intuition et/ou performance), Visualisation, Représentation et conversion entre modèles,...
- ▶ Avoir conscience des problèmes éventuels d'ambiguïtés. Exemple :



2 Représentation par Bord

- ▶ Un volume est défini par son intérieur, son extérieur et sa frontière (ou bord).
- ▶ Le bord d'un volume est une surface fermée (à comparer à la représentation d'une nappe, d'un drapeau, ...).
- ▶ Très souvent (réalité virtuelle, infographie, CAO), seule la frontière suffit pour représenter complètement l'objet volumique.

⇒ Boundary Representation (ou B-Rep).

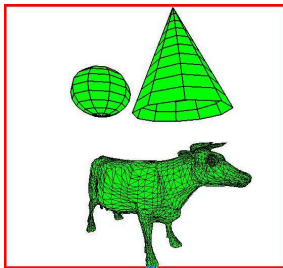


- ▶ Le bord d'un volume est une surface fermée (sans bords).
- ▶ Remarque : le bord d'une surface ouverte (exemple : drapeau, nappe, ...) est une (ou plusieurs) courbe.

⇒ Représentation d'un volume par une surface (Bézier, B-spline, Nurbs, Surfaces implicites) et les problèmes qui vont avec (raccordement et construction).

Approximation polyédrique

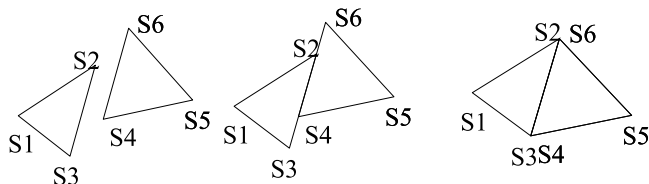
- ▶ Représenter la surface par un ensemble de polygones (appelés facettes) reliés par leurs arêtes (« maillage polyédrique »).
- ▶ Les problèmes liés aux B-reps polyédriques sont très liés aux B-reps avec Bézier, Nurbs (représenter et construire des maillages de points de contrôles qui sont raccordés les uns aux autres par leurs arêtes).
- ▶ Les représentations et constructions peuvent généralement être utilisées pour les surfaces ouvertes (objets surfaciques).



3 Représentation B-Rep Polyédrique

"Soupe" de polygones

- ▶ Chaque polygone est défini indépendamment les uns des autres.
- ▶ Exemple : 2 triangles $((S1_x, S1_y, S1_z), (S2_x, S2_y, S2_z), (S3_x, S3_y, S3_z)), ((S4_x, S4_y, S4_z), (S5_x, S5_y, S5_z), (S6_x, S6_y, S6_z))$



⇒

- ▶ Aucune structuration (difficile de retrouver la notion de surface : adjacence entre les polygones par exemple).
- ▶ L'adjacence par égalité numérique des coordonnées est à proscrire : redondance inutile, problème numérique lors des tests d'égalité.

- ▶ Même pour les applications les plus simples (affichage), on se retrouve rapidement confronté à connaître la structure (i.e. **la topologie**) des surfaces composées par facettes :
 - Trouver les facettes incidentes à un sommet ; les arêtes d'une facette ; recherche d'un chemin entre 2 sommets de la surface ; etc

Condition des 2-variétés combinatoires (i.e. « bonne » surface) :

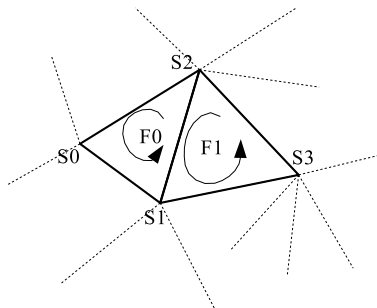
- ▶ Toute arête réunit 2 sommets et seulement 2 sommets.
- ▶ Toute arête est incidente à une facette et à au plus deux facettes
 - Une arête incidente à une seule face est une arête du bord de la surface.
 - Pour les volumes par B-rep : toute arête est incidente à exactement deux faces (le bord du volume est une surface fermée).
- ▶ (géométrique) : toute facette est plane (pas toujours requis ; peut être imposée en prenant des triangles).
- ▶ (géométrique) : la surface ne s'auto-intersecte pas pour garantir la définition d'un intérieur et d'un extérieur (rarement validé par les outils de construction).

- ▶ Un B-rep est dit orienté vers l'extérieur si toutes ses facettes sont orientées directes vers l'extérieur.
- ▶ Autrement dit : vue de l'extérieur de l'objet, toute face est directe (i.e. sens des sommets de la facette dans le sens direct).

Représentation d'un B-rep

« Soupe » de polygones par liste de sommets (permet la non-redondance des sommets) :

- Un tableau de sommets : $s[0] = (s_{0x}, s_{0y}, s_{0z})$, $s[1] = (s_{1x}, s_{1y}, s_{1z})$, etc
- Un tableau de facettes, dont chaque facette est représentée par une liste de sommets (pointeurs) : $f[0] = (0, 1, 2)$, $f[1] = (2, 1, 3)$.



- ▶ Dès qu'on exprime le besoin de parcourir la structure de voisin en voisin : très peu efficace.
- ▶ Exemple : facettes incidentes au sommet s_0 (parcourir toutes les facettes à la recherche de s_0).
- ▶ Autre exemple : trouver toutes les facettes adjacentes à f_0 par les arêtes (parcourir toutes les facettes à la recherche de celle contenant l'arête $[s_0 s_1]$; idem pour chaque arête de f_0).
- ▶ La structure peut s'avérer lourde à maintenir. Exemple : insérer un sommet dans une facette (subdivision), supprimer un sommet.
- ▶ Cependant structure très souvent employée car elle est simple, et souvent suffisante pour de la visualisation.

Maillage avec structuration fortement redondante (fortement introspective) :

- ▶ Table des sommets, table d'arêtes (chaque entrée = 2 sommets), table de facettes (chaque entrée = liste de sommets).
- ▶ A chaque sommet : liste des arêtes et listes des facettes auxquelles il appartient.
- ▶ A chaque arête : liste des facettes auxquelles elle appartient.
- ▶ Avantages-Inconvénients :
 - Les parcours sont aisés : chaque entité connaît ses entités adjacentes.
 - Peut s'avérer très lourd à construire, et surtout à maintenir en cas de modification (un sommet influence beaucoup de données).

Problème \Rightarrow trouver un « bon » compromis selon l'application souhaitée (arêtes nécessaires ? connaître une seule facette pour chaque sommet suffit il ?).

\Rightarrow Un très bon compromis entre redondances et performances des parcours est offert par la structure des winged-edges.

4 Winged-edges

- ▶ « winged-edges » = arêtes ailées.
- ▶ 3 tables :
 - Une table des sommets : chaque entrée s_i contient (outre ses attributs : coordonnées, etc) la référence à une seule arête e_j à laquelle il appartient.
 - Une table des facettes : chaque entrée f_i contient la référence à une seule des arêtes e_j qui la composent.
 - Une table des arêtes : chaque entrée e_i contient... 8 références.

Winged Edges (1/2)

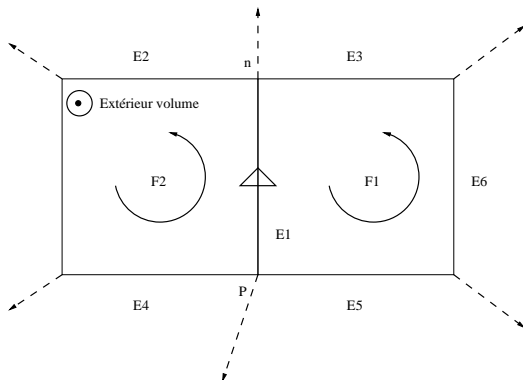


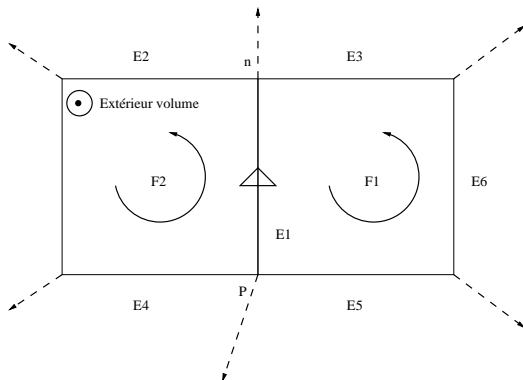
Table des facettes

Identifiant facette	Arête incidente (arbitraire)
F1	E6
F2	E4

Tables des sommets

Identifiant sommet	Arête incidente (arbitraire)
p	E4
n	E3

Winged Edges (2/2)



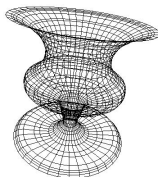
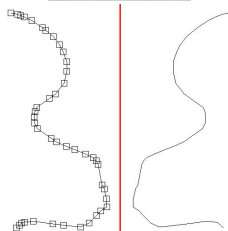
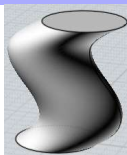
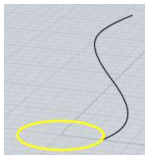
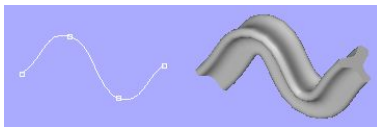
Tables des arêtes :

Identifiant	Sommets		Facettes		Gauche		Droite	
	début	fin	face gauche	face droite	pred	succ	pred	succ
E1	p	n	F2	F1	E4	E2	E3	E5
E2	...							

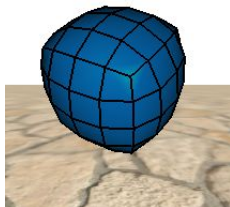
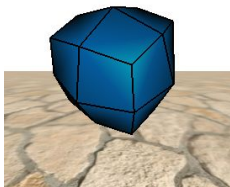
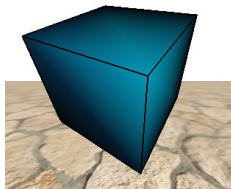
5 Quelques opérations de constructions

Extrusion

- Construire un objet 3D à partir d'un profil 2D le long d'un chemin.

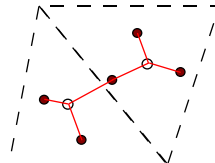
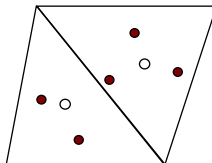
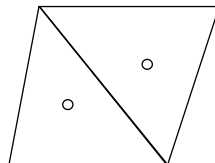
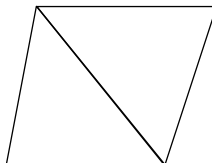


Surface à subdivision (exemple : Catmull-Clark)

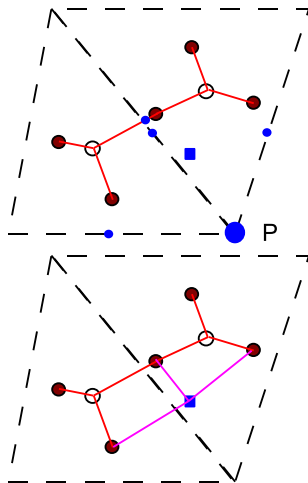


Construction de Catmull-Clark

- ▶ C'est un processus de raffinement récursif d'un maillage initial.
- ▶ Exemple : Catmull-Clark :
- ▶ Pour chaque face, insérer un sommet, isobarycentre de la face : les sommets insérés s'appellent sommets de faces.
- ▶ Pour chaque arête, insérer un sommet, isobarycentre des sommets de l'arête et des 2 sommets de faces adjacents : les sommets insérés s'appellent sommets d'arêtes.
- ▶ Relier par une arête les sommets de faces avec ses sommets d'arêtes (i.e. les arêtes de la face).



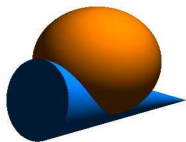
- Pour chaque sommet initial P :
 - Prendre l'isobarycentre A des milieux des segments incidents à P .
 - Prendre l'isobarycentre B des points de faces incidentes à P .
 - Calculez la nouvelle position de $P = \frac{2A+B+(n-3)P}{n}$ (moyenne pondérée empirique pour obtenir un résultat esthétique).
 - Relier les nouveaux P à chaque sommet d'arête adjacents (i.e. les sommets obtenus à partir des arêtes initiales incidentes à P).



6 Arbres CSG

Opérations booléennes

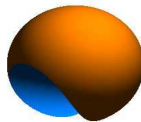
- ▶ Si on dispose déjà d'objets (quelque soit leur représentation) une manière naturelle de les combiner est d'utiliser les opérations dites booléennes : intersection (and), réunion (or) et différence (sub).
- ▶ Exemple : A une sphère et B un cône.



A or B



A and B



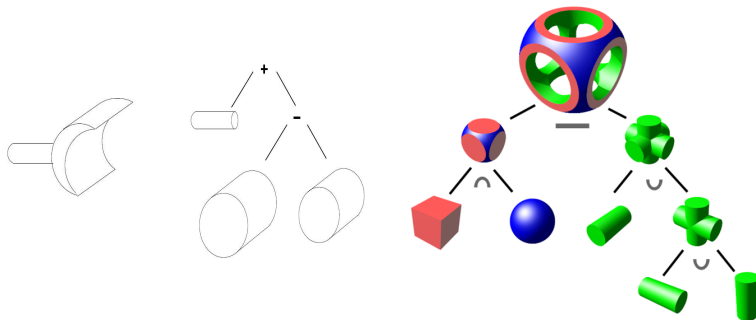
A sub B



B sub A

Arbre de construction

- ▶ Des objets complexes peuvent être obtenus par opération booléennes de primitives simples.
- ▶ Représentation arborescente d'un objet.
- ▶ \Rightarrow CSG (constructive solid geometry).



Définition d'un CSG

- ▶ C'est un arbre binaire.
- ▶ Chaque noeud contient une matrice de passage $M_{pere \rightarrow noeud}$ (positionnement du noeud par rapport au père).
- ▶ Les feuilles sont constituées de primitives géométriques.
- ▶ Les noeuds internes contiennent un opérateur booléen (and, or, sub).

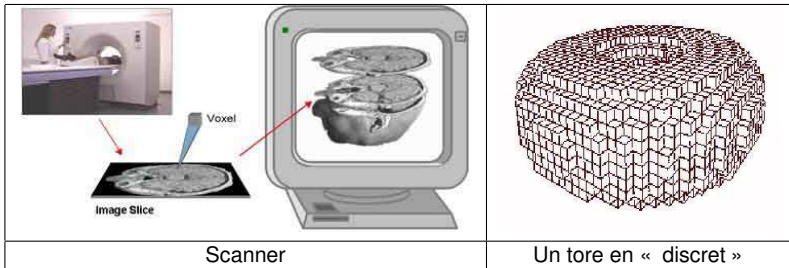
- ▶ La conception s'avère naturelle.
- ▶ La manipulation de la structure est aisée.
- ▶ Des primitives simples (cubes, sphères, cônes) peuvent donner des objets très complexes.
- ▶ La visualisation peut se faire sans construire explicitement l'objet résultant (lancer de rayons, rendu projectif).
- ▶ Si l'objet résultant doit être construit explicitement (conversion en B-Reps par exemple) : peut s'avérer très délicat.
- ▶ Peut nécessiter des opérateurs dits régularisés (assurer qu'on obtient toujours un volume).

7 Représentation explicite du volume

- ▶ Des applications plus complexes nécessitent d'avoir une approximation de l'intérieur du volume (décomposition en tétraèdres ou hexaèdre).
- ▶ Exemple : simulation des corps déformables (éléments finis).

Représentation voxels

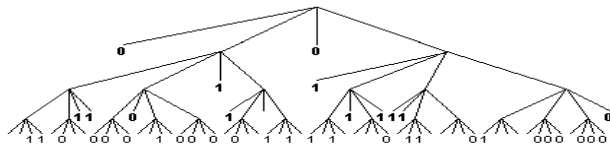
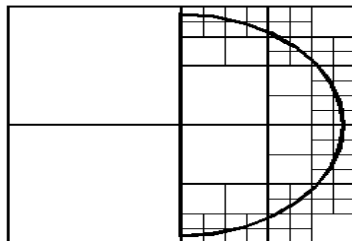
- ▶ Des applications doivent manipuler des représentations discrètes d'un objet.
- ▶ Exemple : les IRM ou scanner donnent une grille régulière de voxels (éléments de volume par analogie avec les pixels de l'écran). Un voxel « allumé » contient de la matière, un voxel « éteint » n'en contient pas.



- Permet de « compresser » une représentation voxels.

VOXELS - OCTREE

(Illustrated with Pixels and Quadtree)



Most suitable for: Brain-scan data, representation of a sponge.