

ST2MPG – Modélisation 3D pour la Réalité Mixte

Introduction

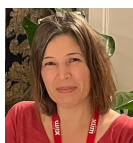
Faten Chaieb-Chakchouk
faten.chakchouk@efrei.fr

A.U 2023 – 2024

Majeure Image Réalité Virtuelle

1

Présentation du module



5CM + 3 TP :
Représentation numérique d'un
objet 3D
Définition de **maillages**
Propriétés /traitement de maillage

Pr. Faten Chakchouk



3CM + 3 TP : Modélisation 3D
avec Blender
- connaître les bases de la
modélisation
- Box Modeling

Arnaud Sauzedde



6 CM + 8 TP
Fondamentaux en modélisation 3D du corps humain.
3D body scanning, processing and body measurements extraction
Rigging et animation du corps humain
Recalage/ajustement d'un modèle de maillage à un scan 3D du corps humain
Animation de personnages à l'aide du skinning
Cas d'utilisation de l'animation d'avatar

Dr. Junfeng Peng,
R&D Decathlon

Langage /bibliothèque : Python, Blender, Meshlab

Evaluation : DE : 50% TP : 50%

2

Présentation du module



	Date	Répartition	Volume	Mode	Intervenant
1	06/05 PM	3 CM + 1 TP	4H	Présentiel	Pr. Faten Chakchouk
2	07/05/2024 AM	CM	3H	Présentiel	Arnaud Sauzedde
3	07/05/2024 PM	TP	3H	Présentiel	Arnaud Sauzedde
4	21/05/2024 AM	2 CM + 2 TP	4 H	Présentiel	Pr. Faten Chakchouk
5	11/06/2024 PM	2H CM + 1H TP	3H	Présentiel	Dr. Junfeng Peng
6	14/06/2024 PM	1H CM + 3H TP	4H	Visio	Dr. Junfeng Peng
7	05/07/2024 PM	CM	3H	Visio	Dr. Junfeng Peng
8	08/07/2024 PM	TP	4H	Présentiel	Dr. Junfeng Peng

3



Partie I – Représentation d'un objet 3D

Fondamentaux

Faten Chaieb-Chakchouk
faten.chakchouk@efrei.fr

A.U 2023 – 2024

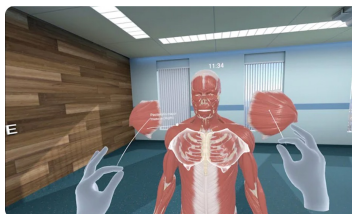
Majeure Image Réalité Virtuelle

4

Contexte – Applications XR

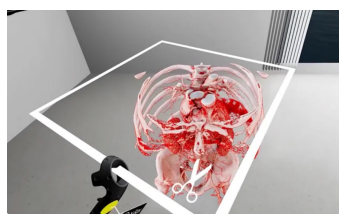
Human Anatomy VR

<https://www.youtube.com/watch?v=fbfLqdhgOW4>



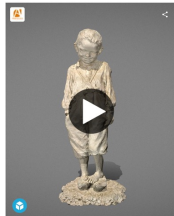
Virtual Reality in Medicine: VR Room

<https://www.youtube.com/watch?v=AttXbcLUyR0>



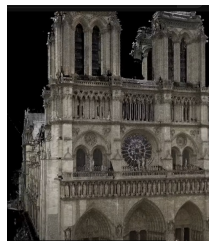
L'enfant aux sabots par Robert Wlérick

<https://www.alienor.org/collections/oeuvre/271752-statue-ronde-bosse-l-enfant-aux-sabots>



Notre-Dame de Paris et son double virtuel

<https://www.youtube.com/watch?v=WW6xqi8kpb8>



5

Contexte – Applications XR

Explorez des modèles 3D en réalité virtuelle

<https://www.youtube.com/watch?v=nR5NWFw5nyg>



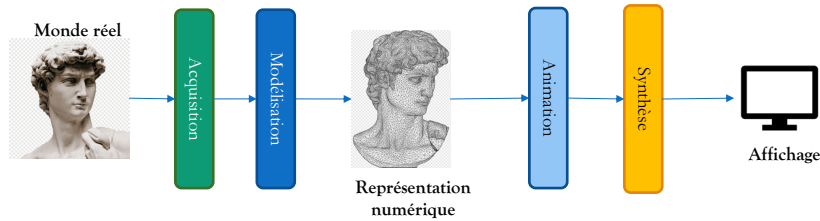
6



Démarche à faire ...



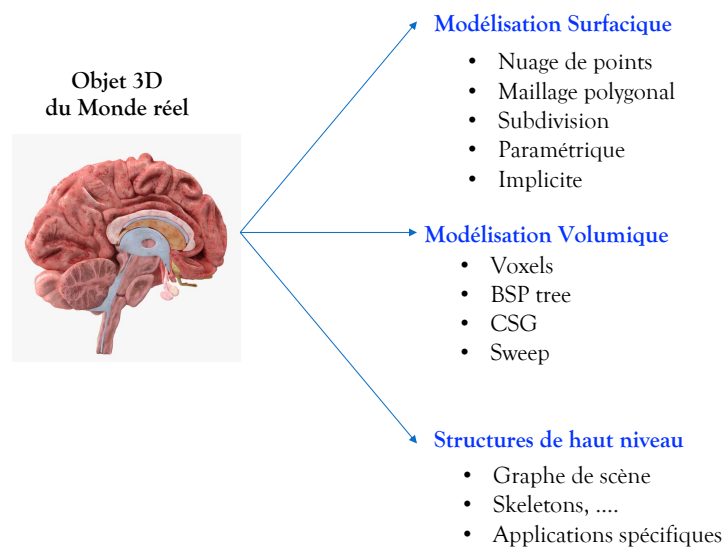
Comment faire pour réaliser ces applications ?



- **Modélisation** = Représentation numérique d'objets 3D
- **Rendu/Synthèse d'images** = Construire des images 2D à partir de modèles 3D
- **Animation** = Simulation des changements dans le temps

7

Objet 3D : Quelle représentation numérique ?



8



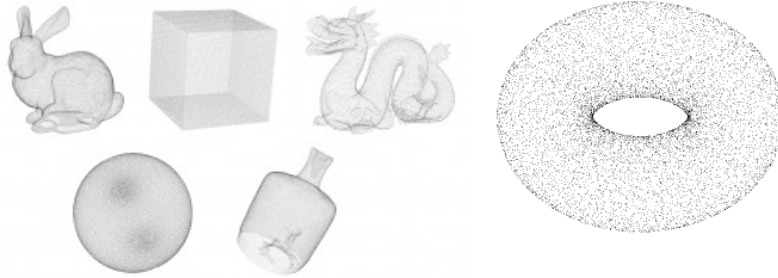
Représentations d'objets 3D



Points

- Images de profondeur
- Nuage de Points (Point cloud)

Ensemble de points 3D non structurés



11

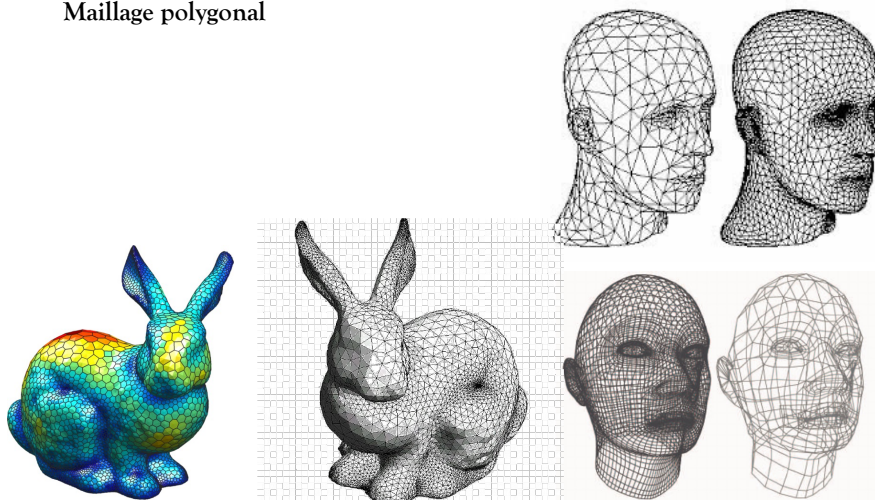


Représentations d'objets 3D



Surfaces

Maillage polygonal



12

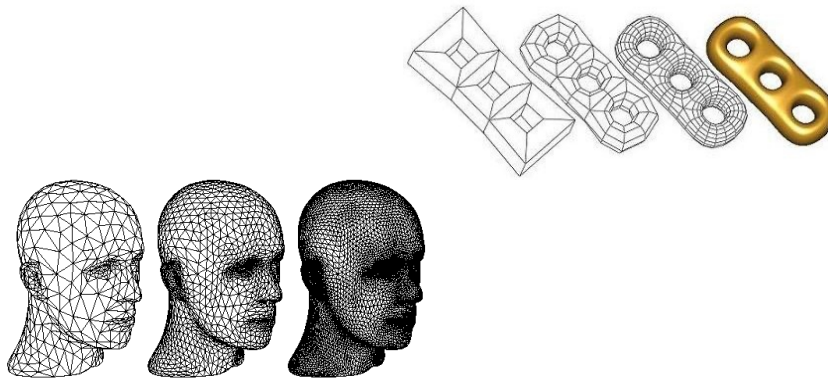


Représentations d'objets 3D



Surfaces de Subdivision

Un maillage grossier + règle de subdivision
Surface = limite/convergence de la séquence de raffinements



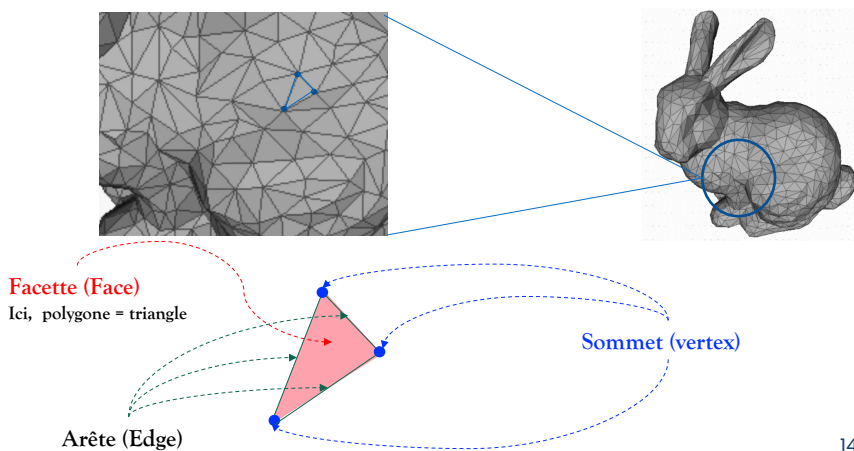
13



Maillage Polygonal



- Ensemble de polygones représentant une surface 2D plongée dans 3D
- Approximation linéaire par morceaux de la surface d'un objet 3D



14

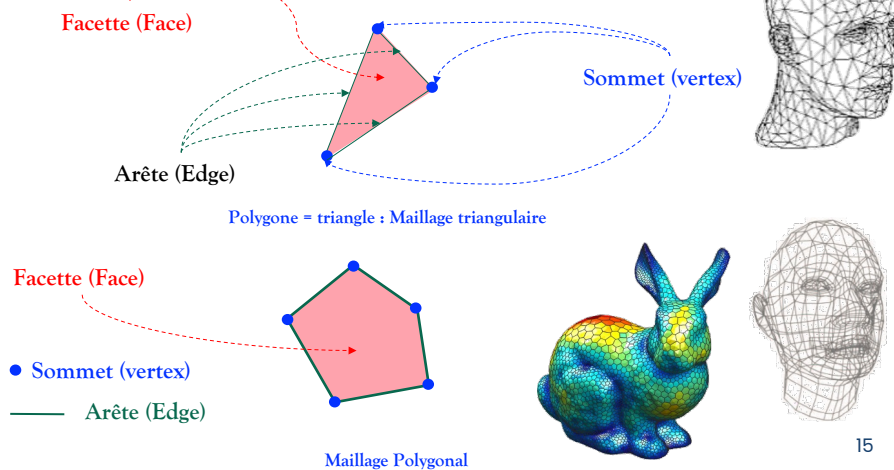
14



Maillage Polygonal



Ensemble de polygones représentant une surface 2D plongée dans 3D



15

15



Maillage Polygonal



Pourquoi les maillages triangulaires sont les plus utilisées ?

- Simplicité
- Un triangle = Le plus petit élément de surface
- Facilité de description
- Données de base pour les logiciels/matériels de rendu (Pour le rendu un maillage polygonal sera transformé en maillage triangulaire)
- Pris en charge dans plusieurs outils de simulation et/ou analyse.
- Plusieurs outils et techniques d'acquisition fournissent des maillages triangulaires

16

16



Maillage Polygonal



Un maillage triangulaire \mathcal{M} est représenté par :

Géométrie

Ensemble des sommets

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_N\}$$

avec

- N : nombre de sommets
- $v_i(x_i, y_i, z_i) \in \mathbb{R}^3, \forall i \in \{1, \dots, N\}$

Topologie/connectivité

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_p\}$ et/ou

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_M\}$$

avec

- P : nombre d'arêtes
- M : nombre de facettes
- f_i : facette i
- e_i : arête i

17

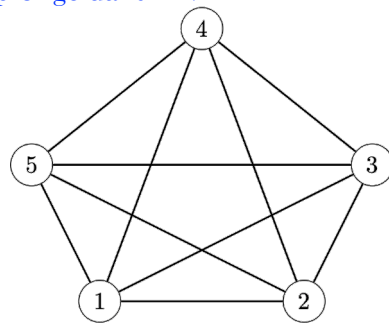
17



Maillage Polygonal



Un maillage triangulaire \mathcal{M} peut être représenté par un **Graphe G** plongé dans \mathbb{R}^3 :



$G(V, E)$

$$G = (V, E)$$

- $E = \{e_1, e_2, \dots, e_p\}$: Ensemble des **arêtes**
- $V_{\text{ind}} = \{Iv_1, Iv_2, \dots, Iv_N\}$: Ensemble des indices des sommets

$$V_{\text{ind}} = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

$$E = \{(1,2); (1,5); (1,3); (1,4); (5,2); (2,3); (2,4); (3,5); (3,4); (4,5)\}$$

18

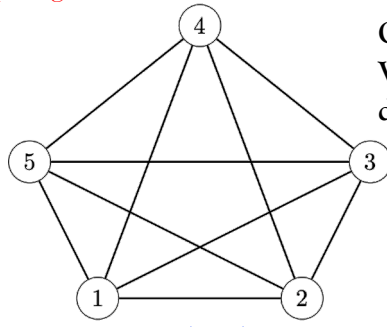
18



Maillage Polygonal



Un maillage triangulaire \mathcal{M} peut être représenté par un Graphe G plongé dans \mathbb{R}^3 :



$G(V, E)$

On associe à chaque sommet de V_{ind} , une position géométrique dans \mathbb{R}^3

Réalisation géométrique

$$V = \{(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2); (x_3, y_3, z_3), (x_4, y_4, z_4); (x_5, y_5, z_5)\}$$

$$V_{\text{ind}} = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

$$E = \{(1, 2); (1, 5); (1, 3); (1, 4); (5, 2); (2, 3); (2, 4); (3, 5); (3, 4); (4, 5)\}$$

19

19



Maillage Polygonal



Un maillage triangulaire \mathcal{M} peut être représenté par un Graphe G plongé dans \mathbb{R}^3 :

Connectivité/Topologie : $G = (V, E, F)$

0D : $V = \{0, 1, \dots, n\} / i \in \mathbb{N}$: sommets

1D : $E = \{e_0, e_1, \dots, e_m\} / e_i \in (V \times V)$: arêtes

2D : $F = \{f_0, f_1, \dots, f_k\} / f_i \in (V \times V \times V)$: facette = triangle

Réalisation géométrique : $\mathcal{M} = (V, \mathcal{E}, \mathcal{F})$

Position des sommets $V = \{p_0, p_1, \dots, p_n\} / p_i \in \mathbb{R}^3$

20

20



Maillage Polygonal



Outre la géométrie et la connectivité :

Attributs associés aux facettes :

- Vecteur normal
- Une coordonnée de texture
- Couleur
- Propriétés des matériaux
- Etc.

21

21



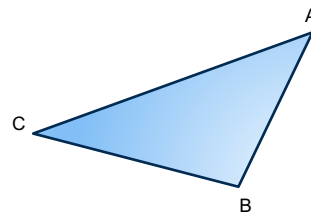
Maillage Polygonal



Outre la géométrie (position), un sommet est caractérisé par :

Attributs

- Vecteur normal
- Une coordonnée de texture
- Couleur
- Propriétés des matériaux
- Etc.



Tout point M de la facette, interpole linéairement ces attributs (sauf parfois la normale)

22

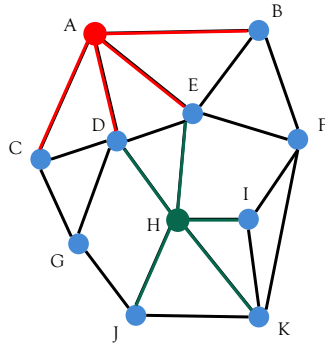
22



Maillage Polygonal Propriétés – Relations d'adjacence



Valence/degré d'un sommet



Degré d'un sommet = **valence**
d'un sommet V_i :
nombre d'arêtes **incidentes** à V_i

Degré(A)=4

Degré (H) = 5

Un maillage régulier

Tous les sommets ont même valence

23

23

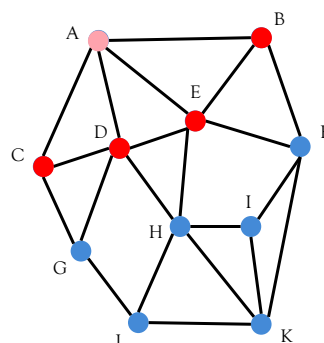
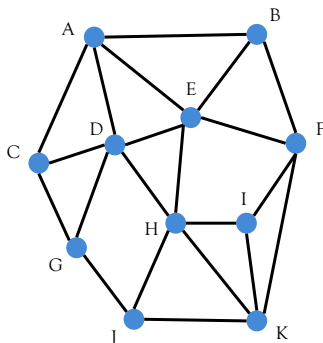


Maillage Polygonal Propriétés



Voisinage d'ordre p d'un sommet : p-voisinage

1-voisinage sommet d'un sommet
 V_i (Vertex 1-ring) :



Liste des sommets directement voisins

24

24

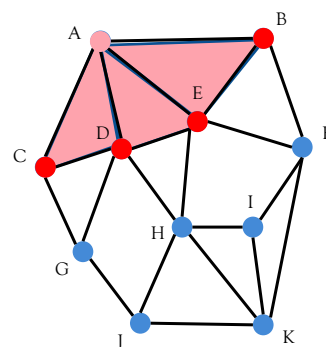
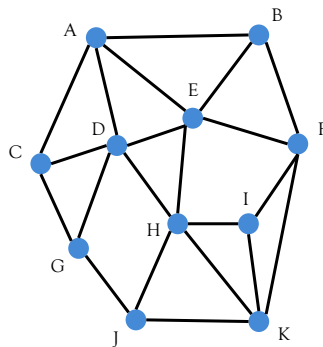


Maillage Polygonal Propriétés



Voisinage d'ordre p d'un sommet : p -voisinage

1-voisinage facette d'un sommet V_i
(Face 1-ring) :



Liste des facettes directement connectées
au sommet

25

25

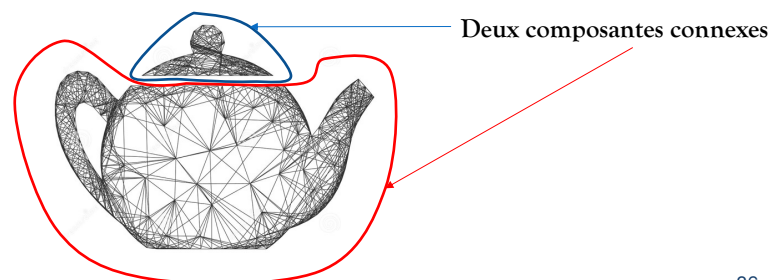


Maillage Polygonal Propriétés



Chemin C : Une séquence sans répétition de sommets, telle que chaque paire de sommets consécutifs partage une arête commune.

Maillage connexe : Pour chaque deux sommets, il existe un chemin qui les relie



26

26



Maillage Polygonal Propriétés – Maillage Manifold



Sommet régulier : Un sommet est dit régulier si et seulement si l'ensemble de ses voisins peut être **réordonné** pour définir un unique **chemin**.

Arête régulière : Une arête est dite régulière si et seulement si elle est adjacente à **exactement** deux triangles.

Arête singulière : Une arête est dite singulière si et seulement si elle est adjacente à **plus que** deux triangles.

Un maillage triangulaire est **manifold** si et seulement si tous ses sommets et ses arêtes sont **réguliers**.

27

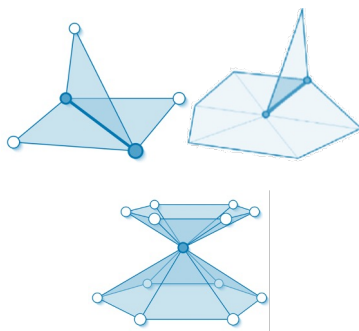
27



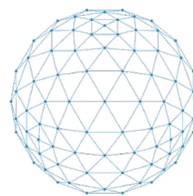
Maillage Polygonal Propriétés – Maillage Manifold



Un maillage triangulaire est **manifold** si et seulement si tous ses sommets et ses arêtes sont **réguliers**.



Maillages Non- Manifold



Maillage Manifold

28

28



Maillage Polygonal Propriétés



Un maillage fermé / Avec bord

Arête de bord : Si une arête appartient exactement à un seul triangle

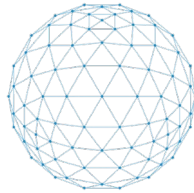
Arête interne : Adjacente à deux triangles différents.

Bord d'un maillage : La réunion de l'ensemble des arêtes de bord.

Sommet de bord : Appartient à une arête de bord sinon il est dit sommet interne.

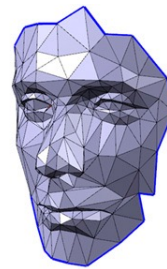
Triangle de bord, si et seulement si il contient au moins une arête de bord.

Maillage fermé : Aucune arête de bord.



Maillage fermé

Maillage avec bord



29

29

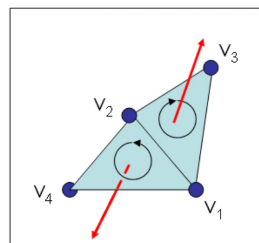


Maillage Polygonal Propriétés

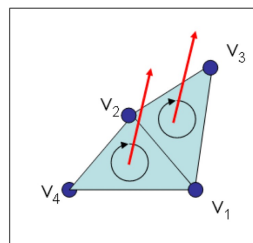


Un maillage orienté / non orienté

Un maillage est dit orienté si et seulement si tout couple de triangles voisins a des vecteurs normaux de même orientation.



Maillage Non-orienté



Maillage orienté

30

30

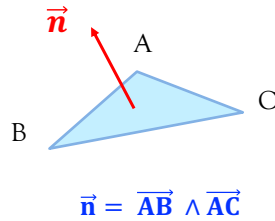


Maillage Polygonal Propriétés



Un maillage orienté / non orienté

Vecteur normal à la facette ABC :

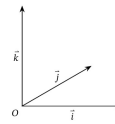


Définition : Produit vectoriel de deux vecteurs dans un système de coordonnées cartésiennes en trois dimensions

Soient deux vecteurs de dimension 3, $\vec{A} = A_x\vec{i} + A_y\vec{j} + A_z\vec{k}$ et $\vec{B} = B_x\vec{i} + B_y\vec{j} + B_z\vec{k}$, dans un repère $(O; \vec{i}; \vec{j}; \vec{k})$. Le produit vectoriel de \vec{A} et \vec{B} est

$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

$$= (A_y B_z - A_z B_y)\vec{i} - (A_x B_z - A_z B_x)\vec{j} + (A_x B_y - A_y B_x)\vec{k}.$$



<https://www.nagwa.com/fr/explainers/616184792816/>

31

31

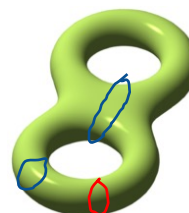
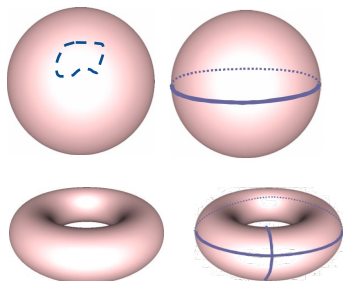


Maillage Polygonal Propriétés



Genre d'une surface / Maillage

Le genre d'une surface connexe est le **nombre maximum** de courbes **fermées simples**, **sans point commun** qu'on peut tracer sur la surface sans la déconnecter en plusieurs composantes connexes.



$$G=1+1$$

$$=2$$

32

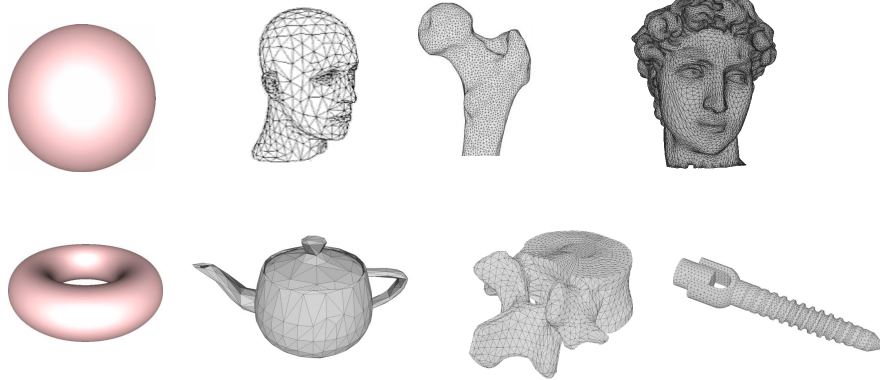
32



Maillage Polygonal Propriétés



Propriété : Deux surfaces de même genre sont **homéomorphes**

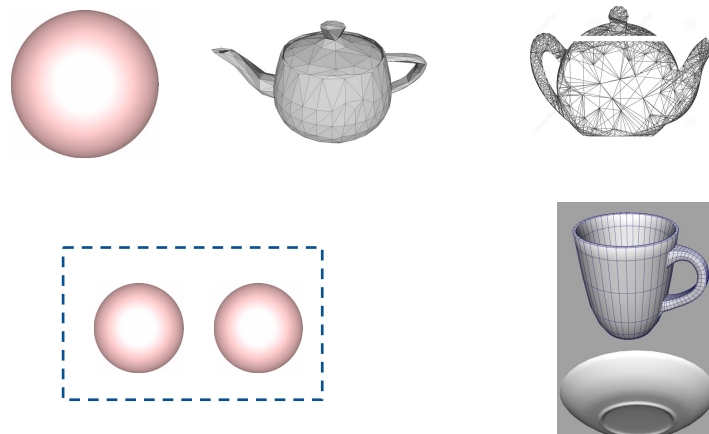


33

33



Maillage Polygonal Propriétés - Connexité



34

34



Maillage Polygonal Propriétés



Relation d'Euler-Poincaré

Soit M un **maillage manifold**, orienté composé de F triangles, E arêtes et V sommets. Soit G le genre de M. On a :

$$V - E + F = 2C - 2G + B$$

Avec :

C : nombre de composantes connexes

B : nombre de bords (un ou plusieurs cycles disjoints d'arêtes incidentes à une seule facette)

Cas maillage sans bord : $V - E + F = 2C - 2G$

35

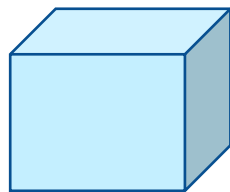
35



Maillage Polygonal Propriétés



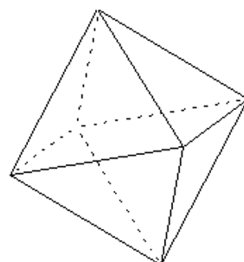
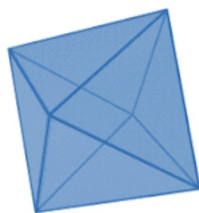
Relation d'Euler-Poincaré



$$V - E + F = 2C - 2G + B$$

$$8 - 12 + 6 = 2 - 2 \times 0 + 0$$

$$2 = 2$$



$$V - E + F = 2C - 2G + B$$

$$6 - 12 + 8 = 2 \times 1 - 2 \times 0 + 0$$

$$2 = 2$$

36

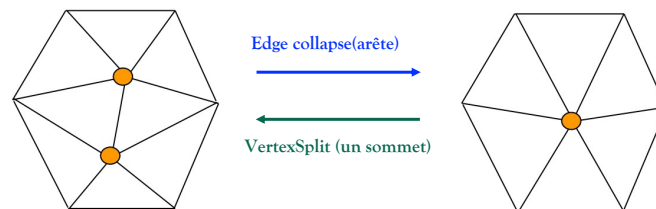
36



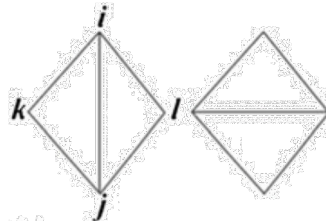
Maillage Polygonal Opérations



Edge collapse / Vertex split



Edge Flip



37

37



Maillage Polygonal Standards/Formats de représentation



Formats propriétaires et Standards

- Wavefront OBJ (*.obj)
- 3D Max (*.max, *.3ds)
- VRML(*.vrl)
- Inventor (*.iv)
- Blend (*.Blend)
- PLY (*.ply, *.ply2)

Codage

- ASCII
- Binaire

38

38



Maillage Polygonal Standards/Formats de représentation



Exemple Fichier .Obj¹

- Wavefront's Advanced Visualizer
- Format ASCII (.obj) (Format binaire - (.mod))

```
#
#
#
#
#
#
Vertices: 8
Points: 0
Lines: 0
Faces: 6
Materials: 1

o 1

# Vertex list

v -0.5 -0.5 0.5
v -0.5 -0.5 -0.5
v -0.5 0.5 -0.5
v -0.5 0.5 0.5
v 0.5 -0.5 0.5
v 0.5 -0.5 -0.5
v 0.5 0.5 -0.5
v 0.5 0.5 0.5

# Point/Line/Face list

usemtl Default
f 4 3 2 1
f 2 6 5 1
f 3 7 6 2
f 8 7 3 4
f 5 8 4 1
f 6 7 8 5

# End of file
```

¹ <http://paulbourke.net/dataformats/obj/>;
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Objet_3D_\(format_de_fichier\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Objet_3D_(format_de_fichier));

39

39



Maillage Polygonal Réparation de maillages 3D




Définition

La réparation de modèles consiste à supprimer les artefacts d'un modèle géométrique afin de produire un modèle de sortie adapté à un traitement ultérieur par des applications nécessitant certaines exigences de qualité pour leurs données d'entrée.


40

40




Maillage Polygonal

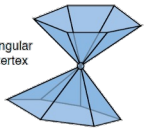
Réparation de maillages 3D



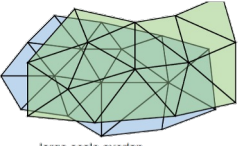
holes and isles



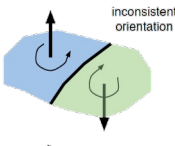
singular vertex



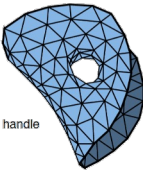
large scale overlap



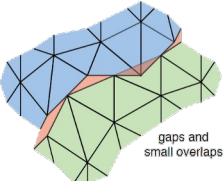
inconsistent orientation



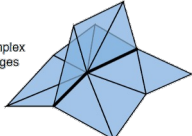
handle



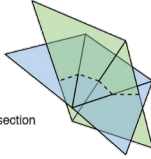
gaps and small overlaps



complex edges




intersection




© The Eurographics Association 2006.

41



Maillage Polygonal

Structure de données



Qu'est ce qu'une bonne structure de données ?

- Temps de chargement (prétraitement)
- Temps de réponse à une requête
- Temps d'exécution d'une opération
- Complexité spatiale
- Redondance

42