

Informatique graphique

Traitement géométrique

Objectifs

- Théorie et algorithmes pour l'analyse et la manipulation efficace de modèles 3D complexes
- Mise en pratique

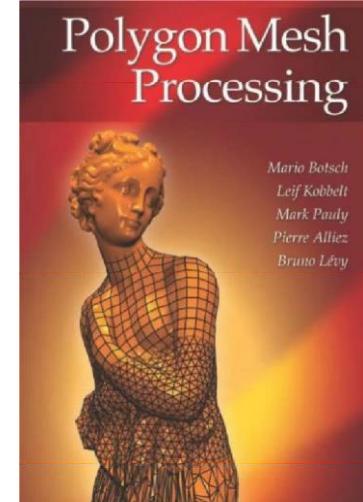


Références

- Livre

“Polygon Mesh Processing”

Mario Botsch, Leif Kobbelt, Mark Pauly, Pierre Alliez,
Bruno Levy



- Eurographics 2008 course notes

“Geometric Modeling Based on Polygonal Meshes”

Mario Botsch, Mark Pauly, Leif Kobbelt, Pierre Alliez, Bruno Levy, Stephan Bischoff, Christian Rössl

- Outils : [Meshlab](#), [Blender](#), [Graphite](#)
- Bibliothèque : [CGAL](#), [OpenMesh](#), [TriMesh](#)

Traitement de géométrie ?

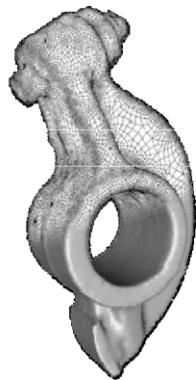
- Acquisition
- Analyse
- Manipulation



Applications



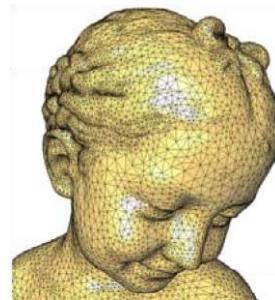
Medicale



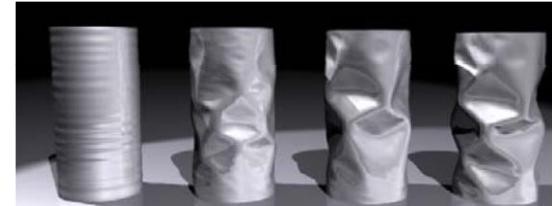
Engineering



E-commerce



Culture



Simulation



Games & Movies



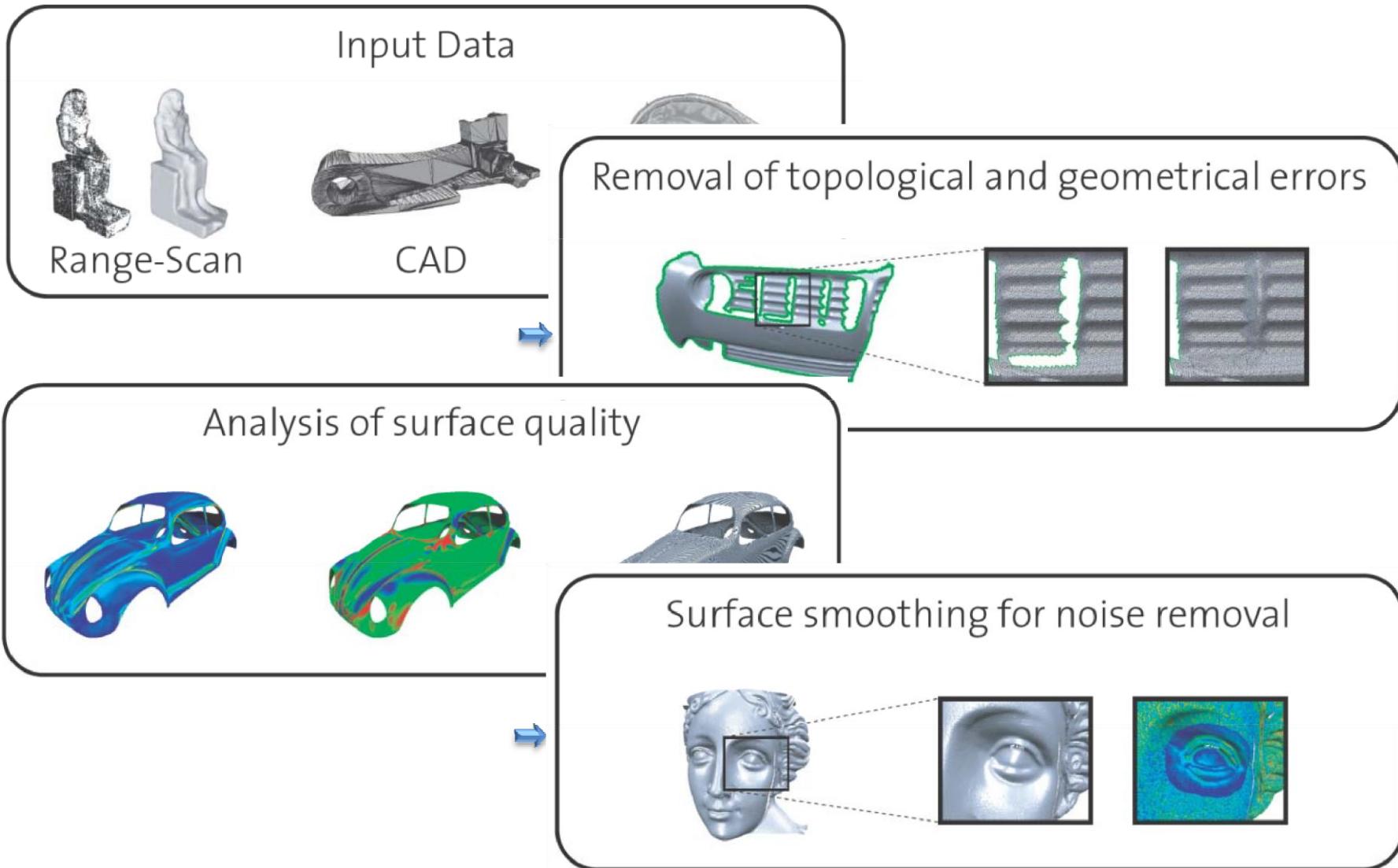
Architecture
Creating



Architecture
Reverse Engineering

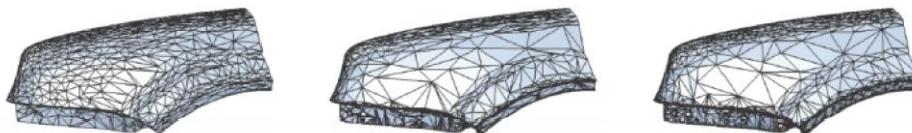
Un pipeline de traitement de géométrie

Algorithmes bas niveaux

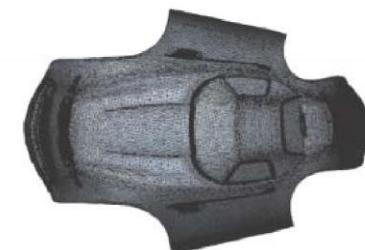


Un pipeline de traitement de géométrie

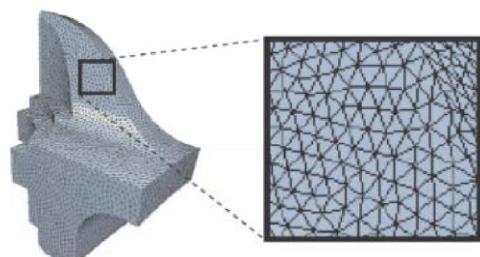
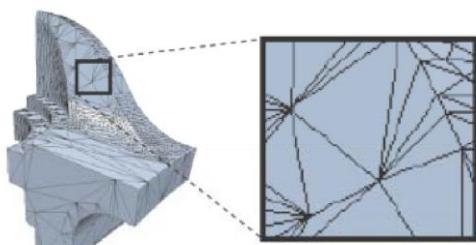
Simplification for complexity reduction



Parameterization



Remeshing for improving mesh quality



Un pipeline de traitement de géométrie

Algorithmes hauts niveaux

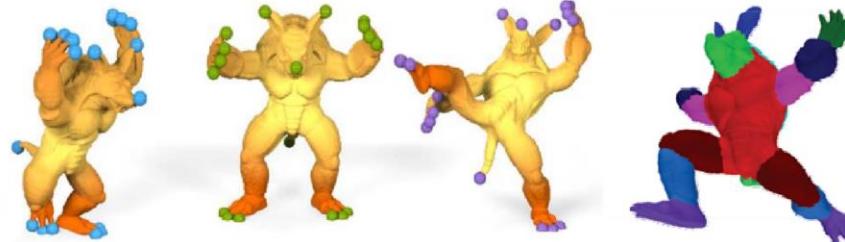
Freeform and multiresolution modeling



Deformation and editing

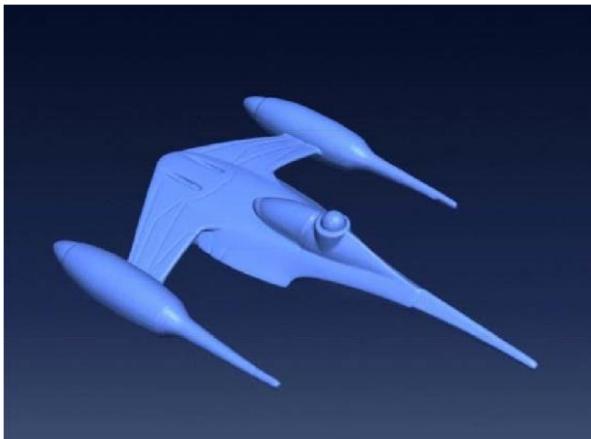


Extracting shape structure



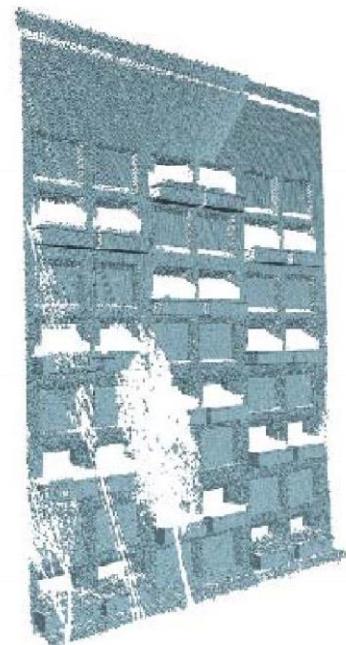
Acquisition de la géométrie 3D

Scanners



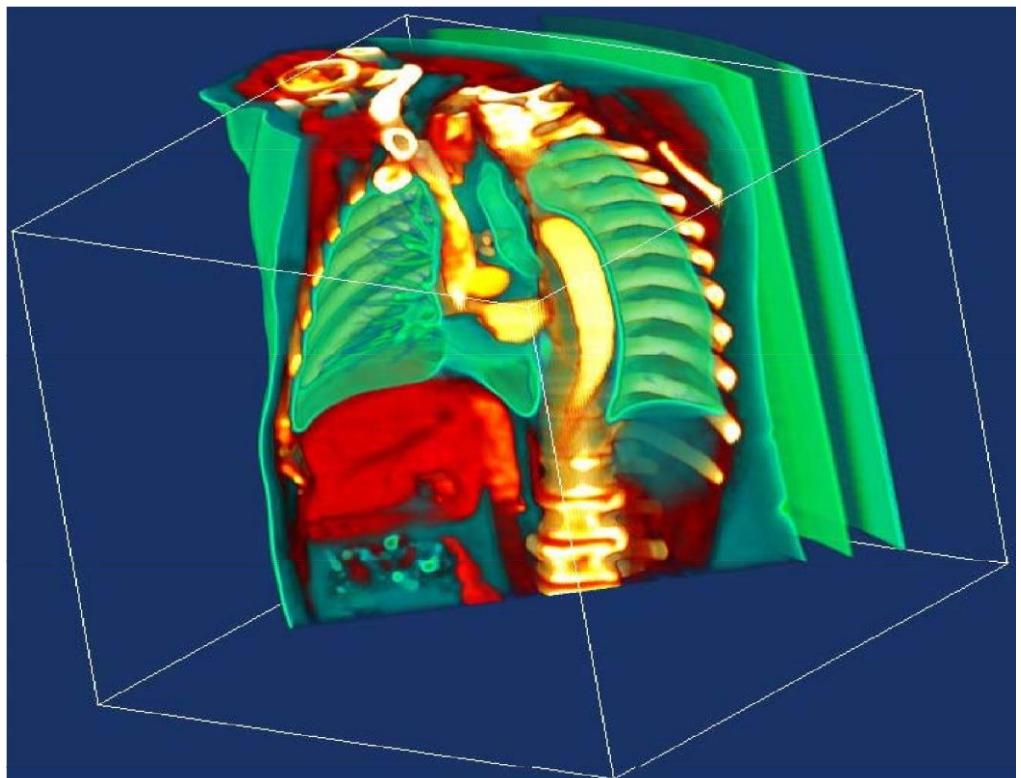
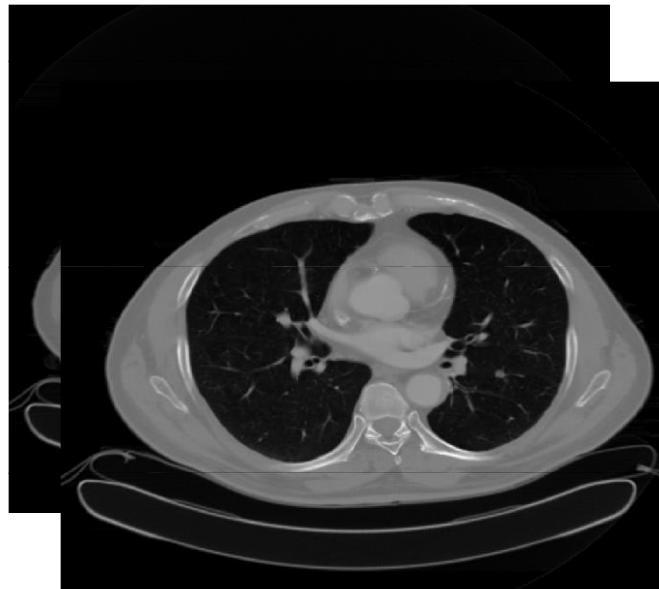
Acquisition de la géométrie 3D

Scanners

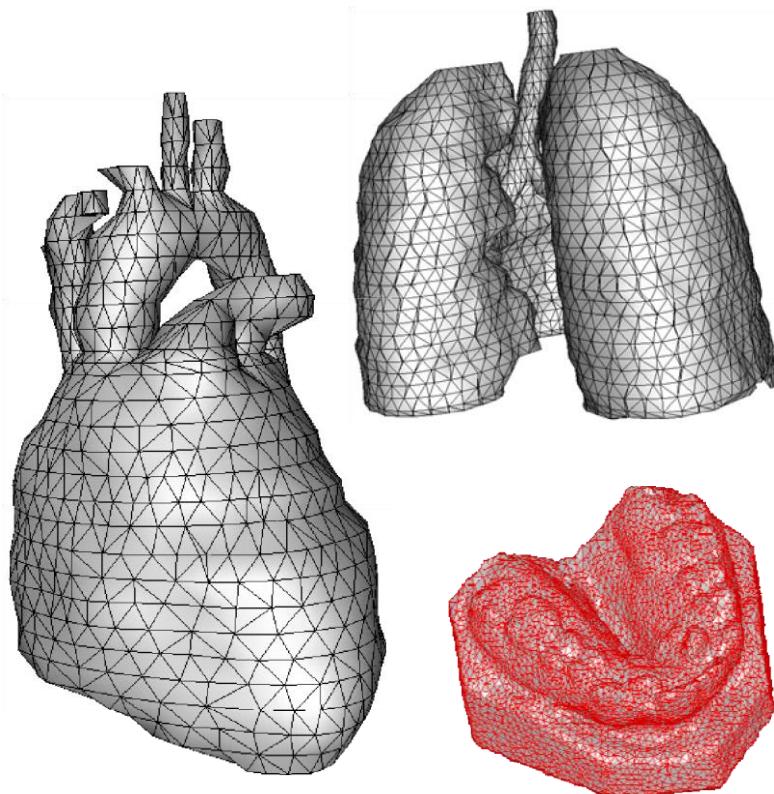


Acquisition de la géométrie 3D

tomographie



Construction de maillages



À partir de contours



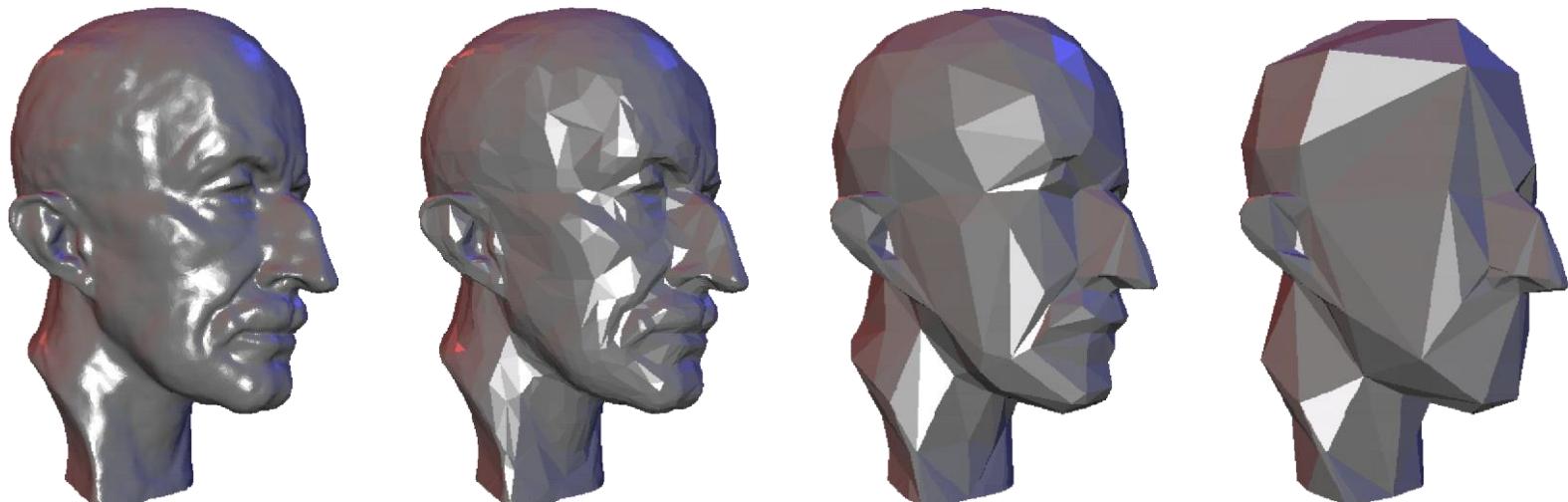
ou de nuages de points

Simplification

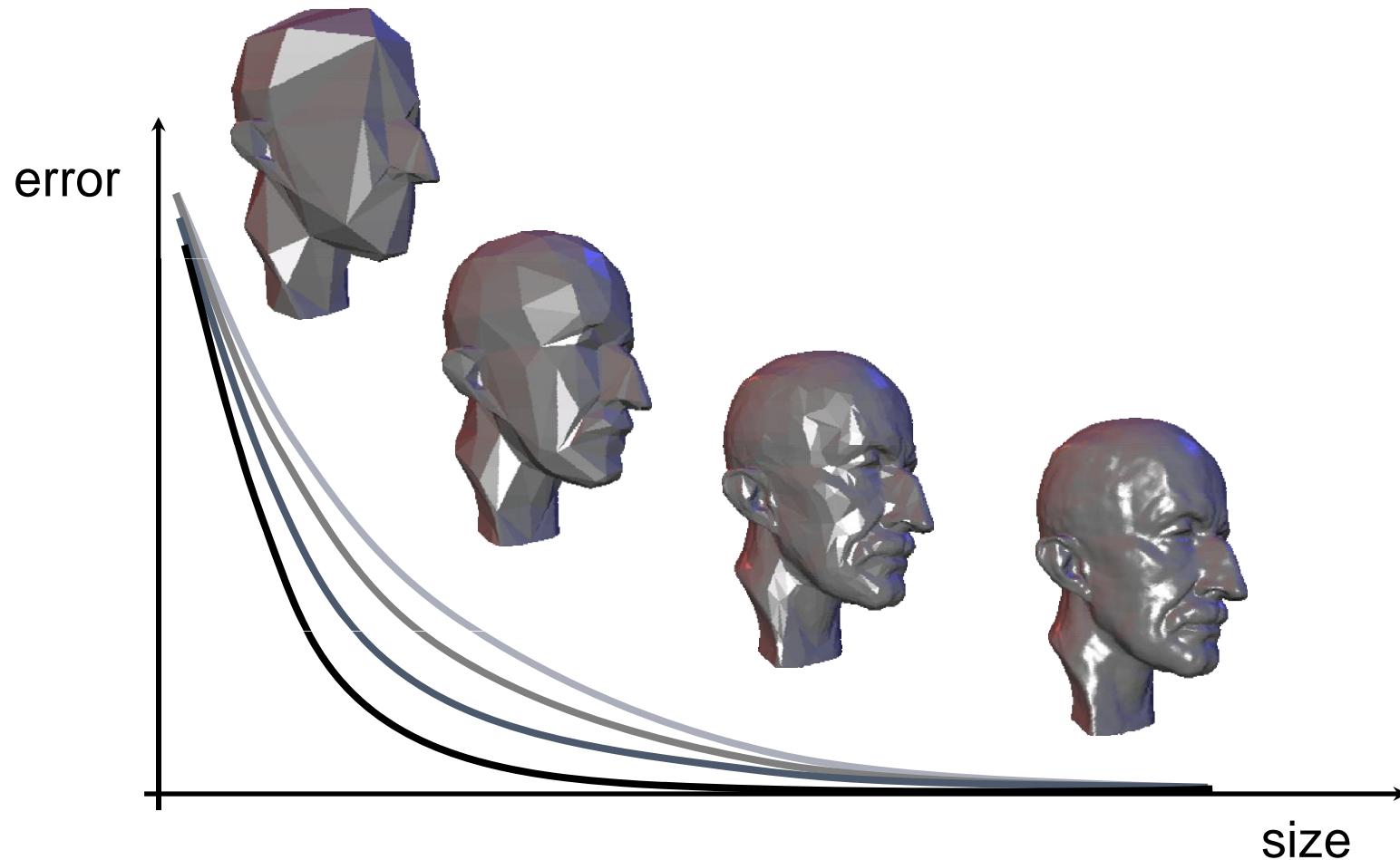
- Demo

Applications

- Hiérarchies multi-resolution pour
 - Le traitement efficace de la géométrie
 - Le rendu level-of-detail (LOD)



Compromis taille-qualité

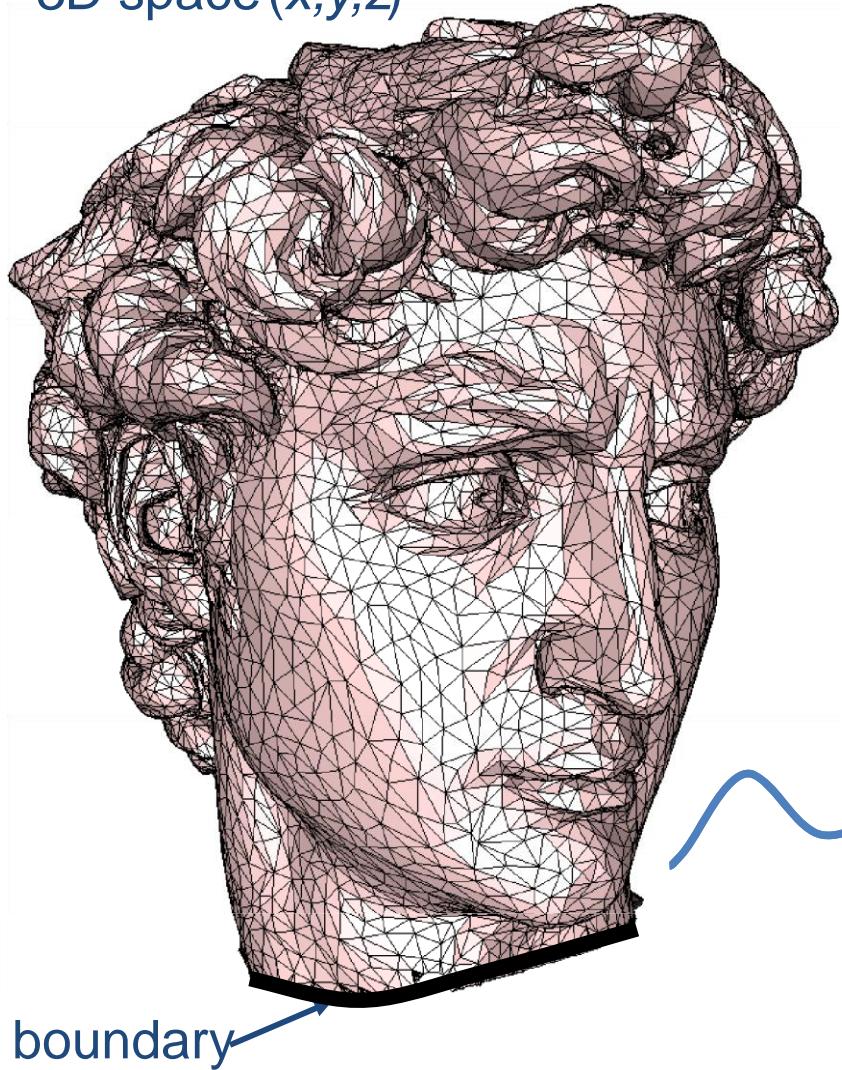


Compression

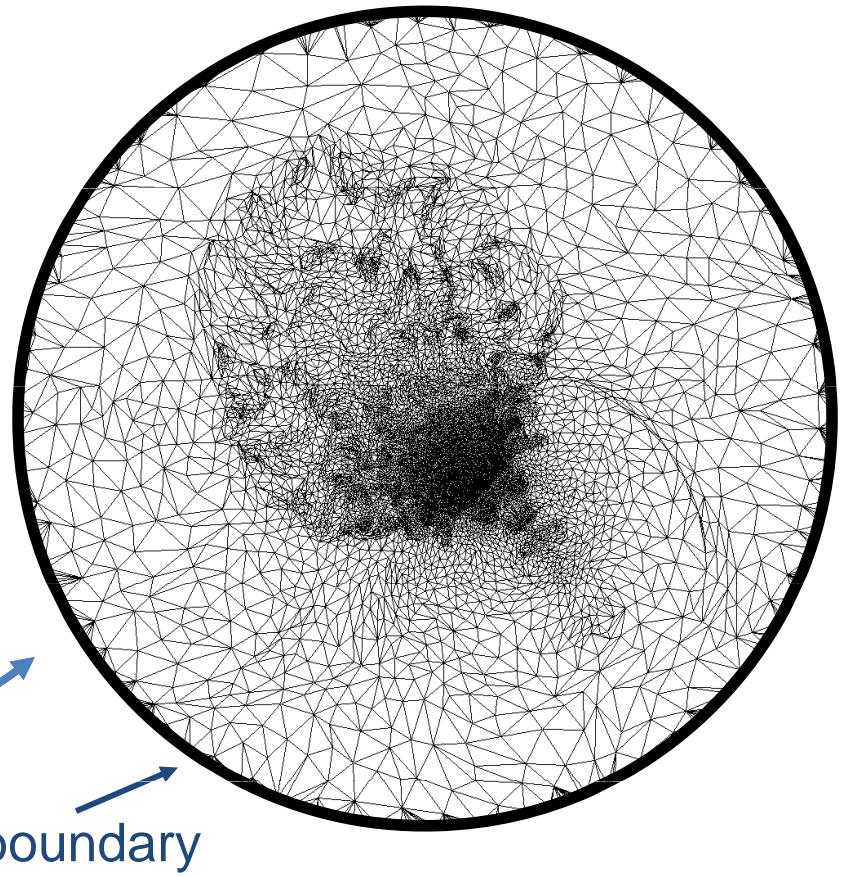
- Topologie
- Géométrie

Parametrisation

3D space (x,y,z)

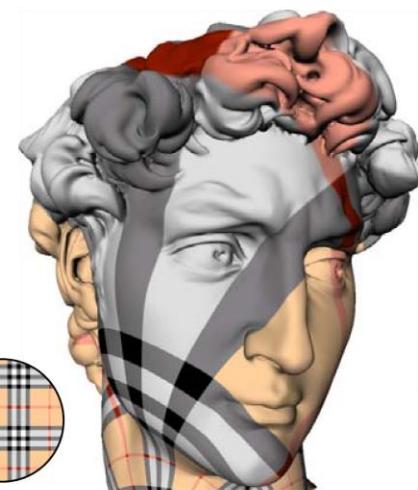
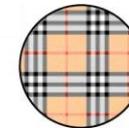
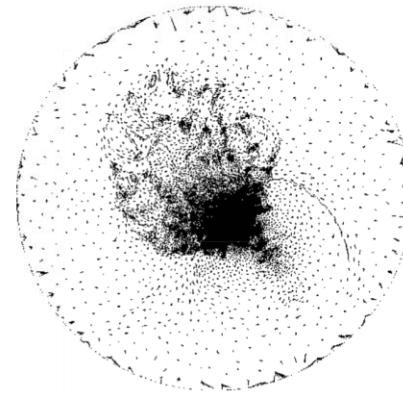


2D parameter domain (u,v)

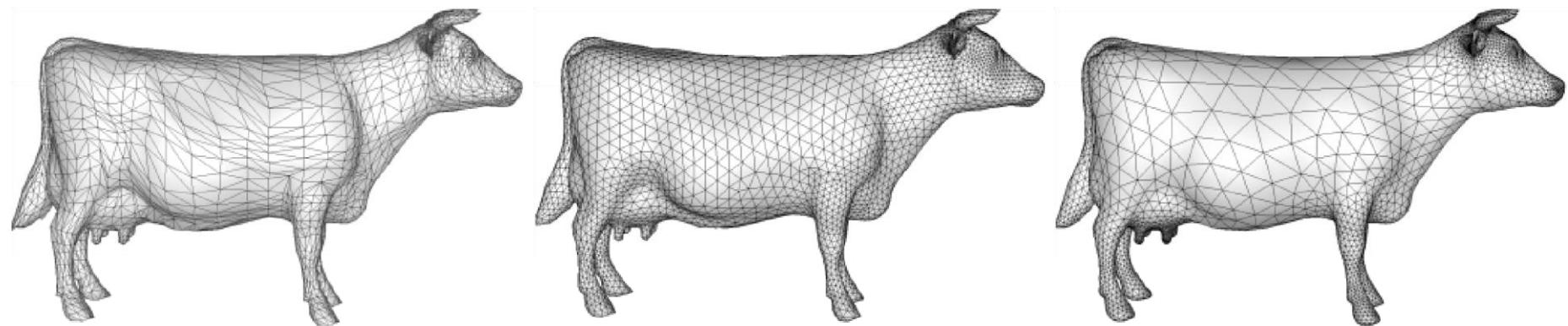
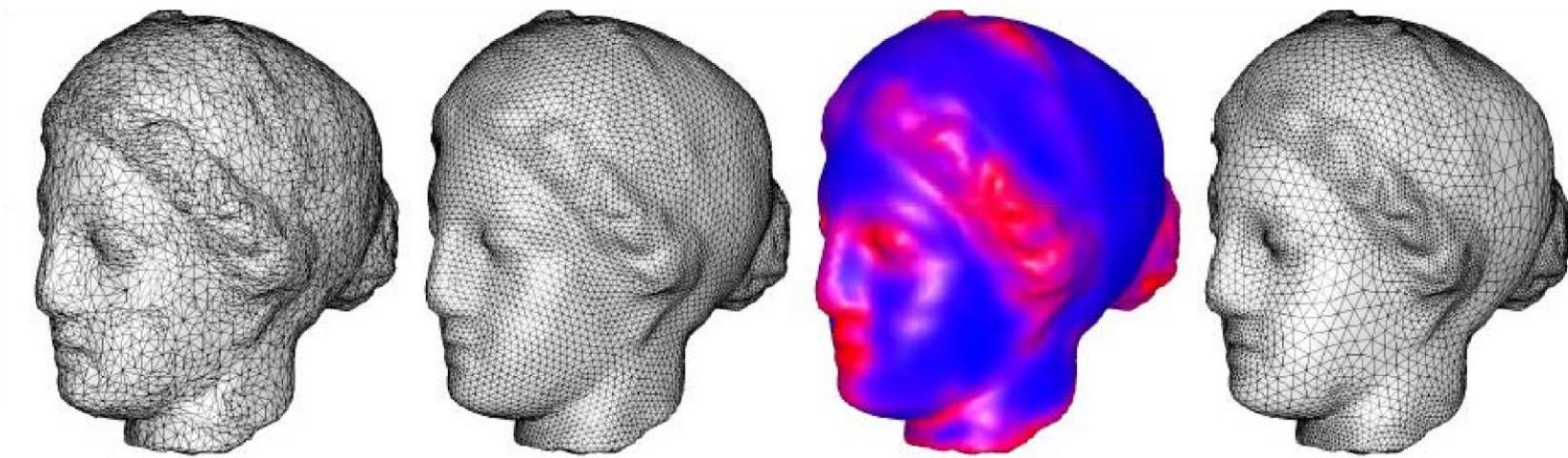


boundary

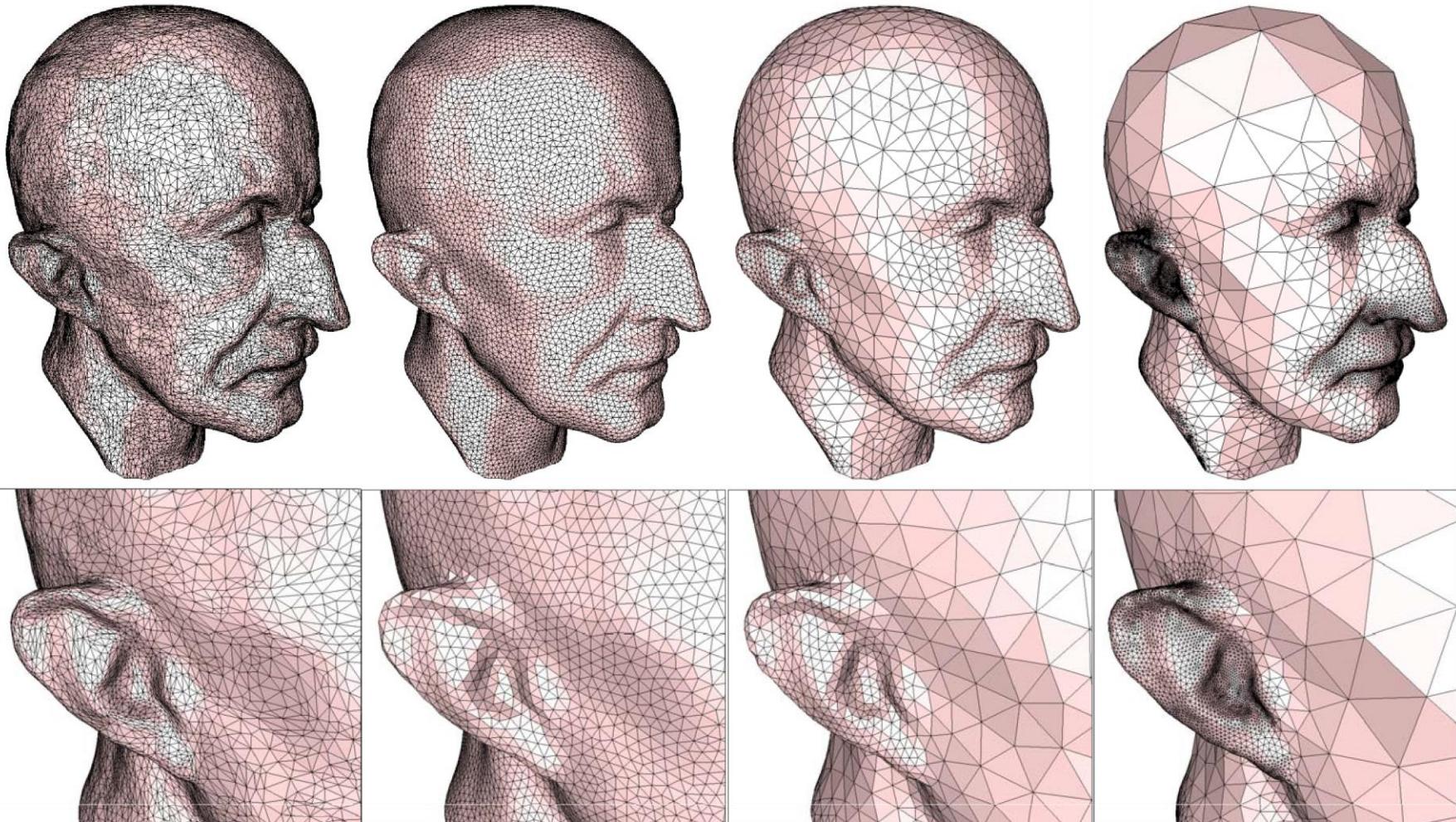
Application – placage de textures



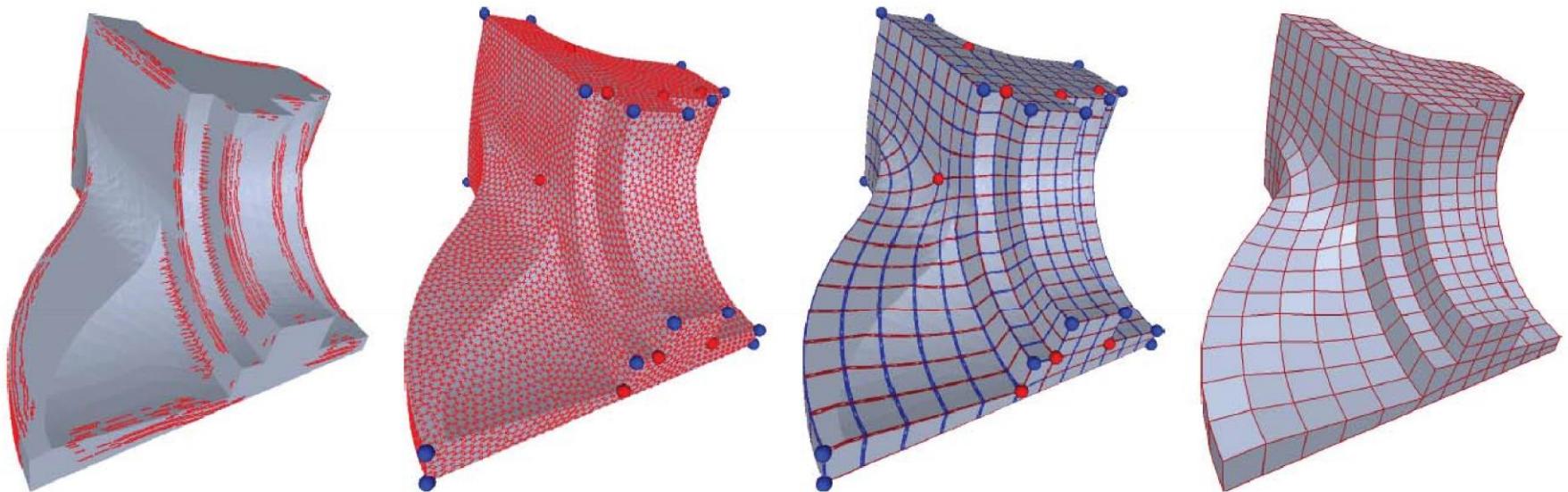
Remaillage



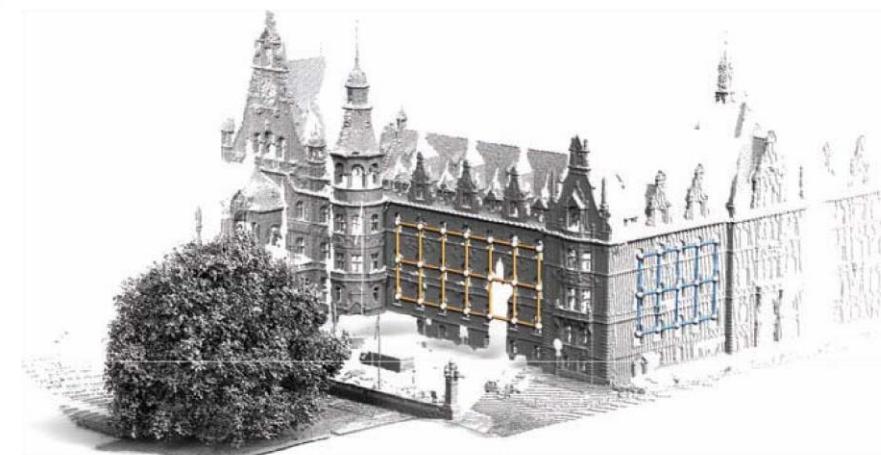
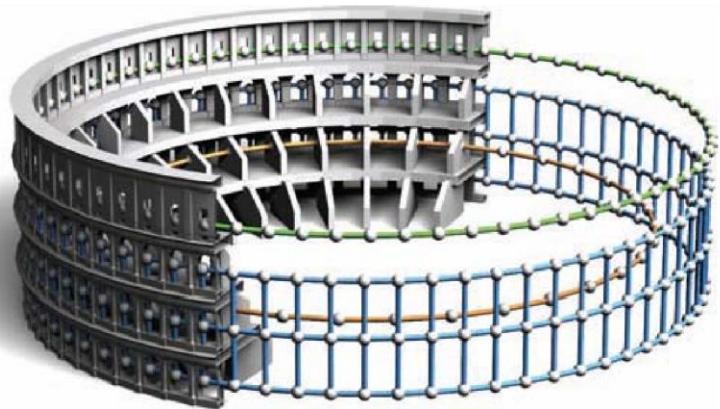
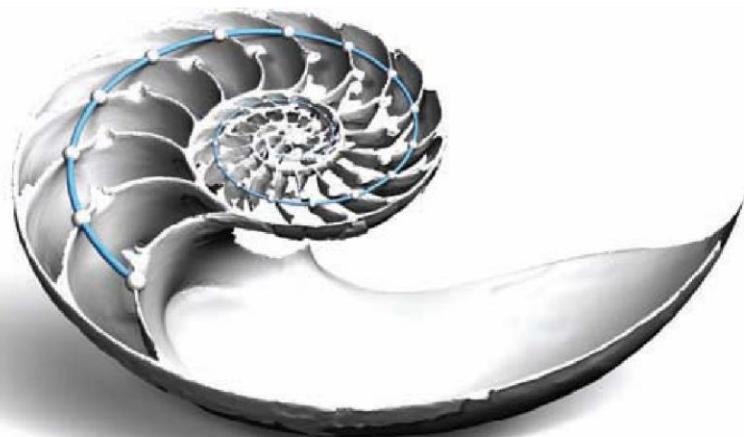
Remaillage



Remaillage par quad



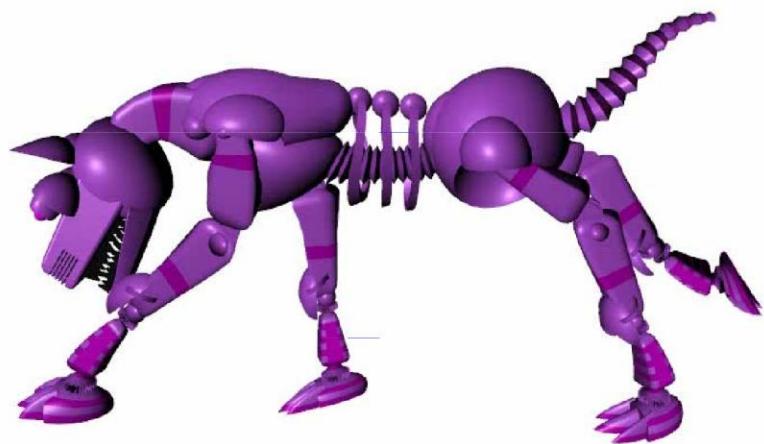
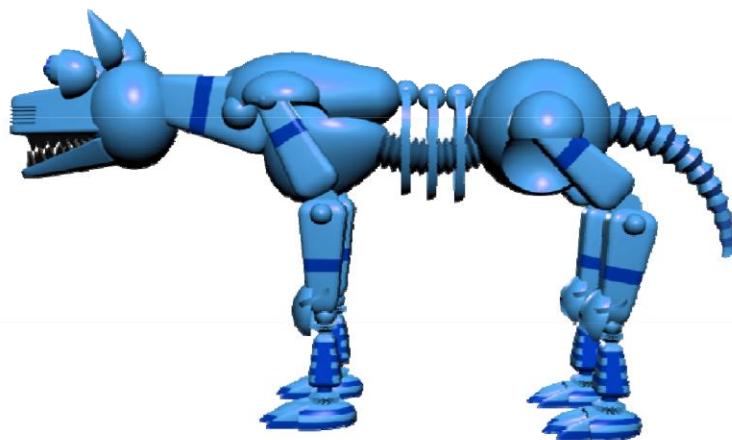
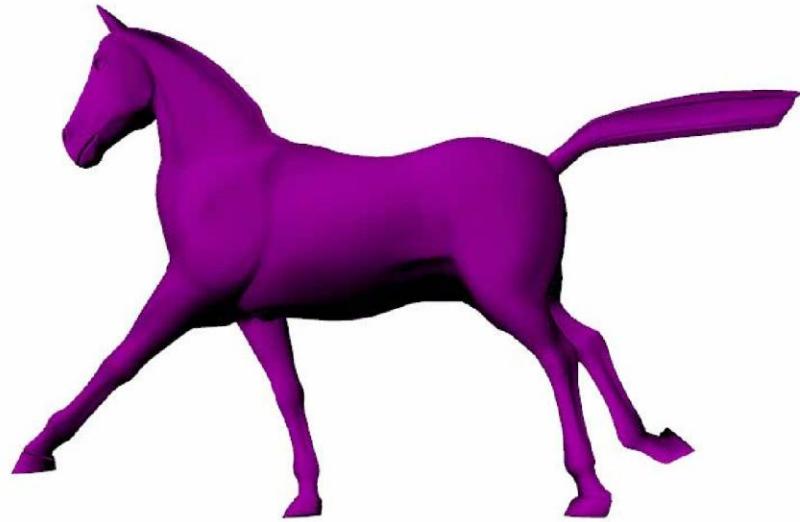
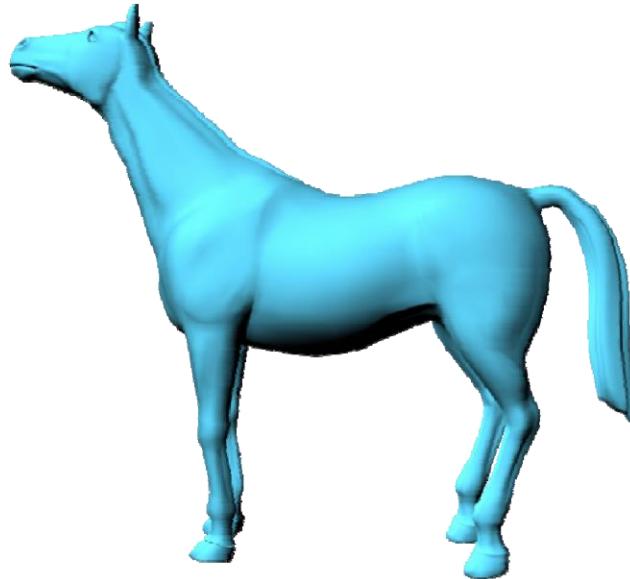
Détection de symétries



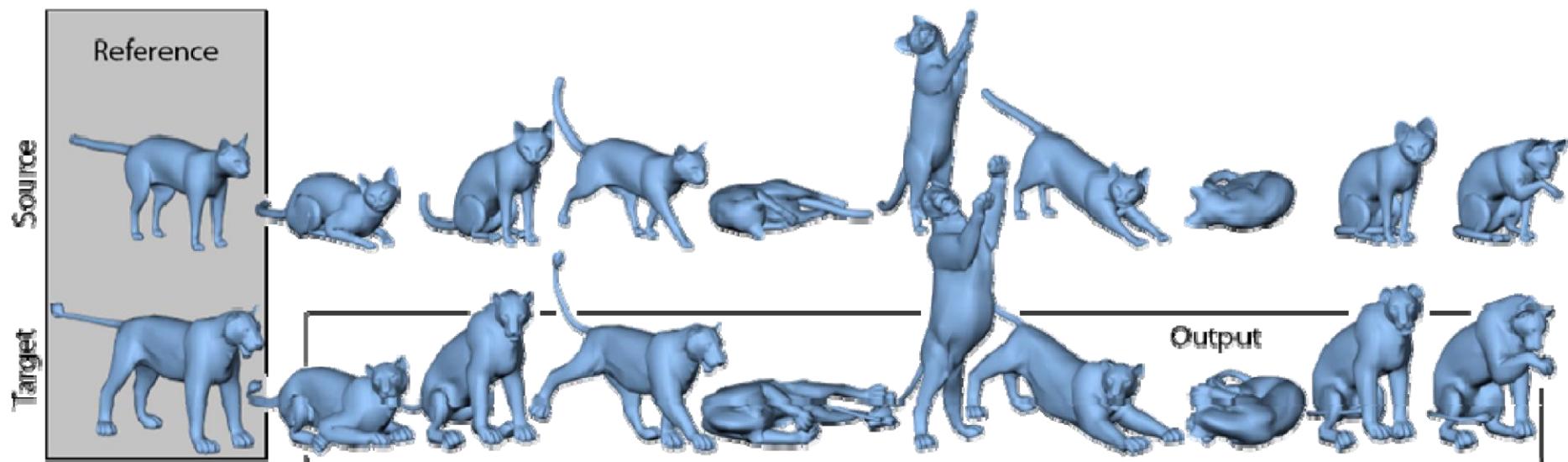
Déformation



Transfert de déformation



Transfert de déformation



Transfert de déformation



Maillages

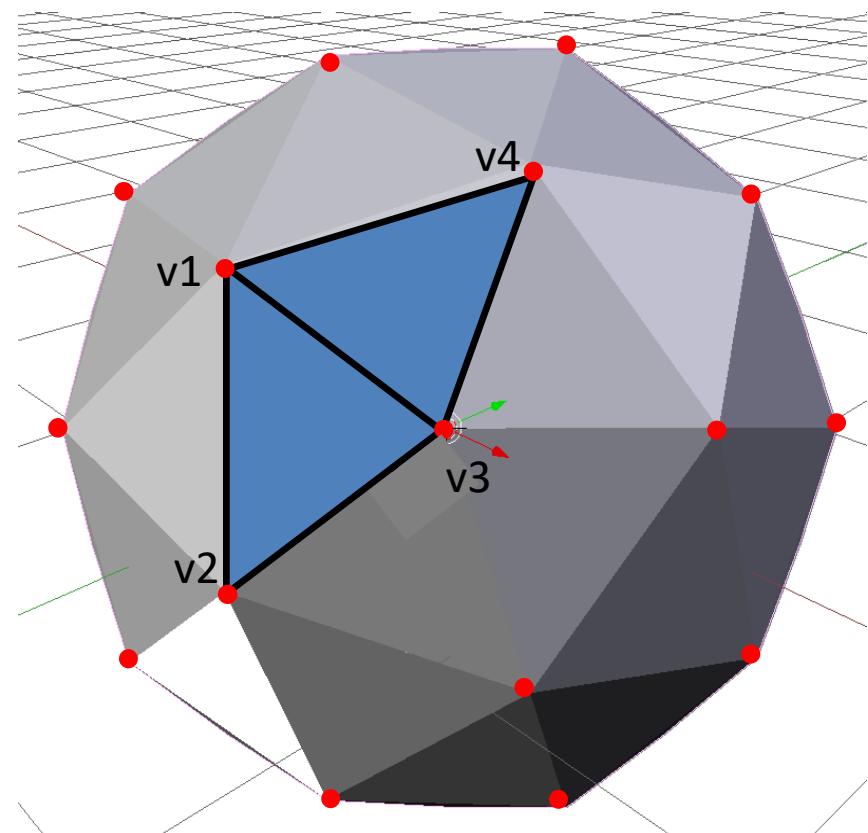
- Bases
 - Les types
 - Définitions
 - Propriétés importantes
- Structures de données de maillage

Définitions

- Approximation de la surface d'un objet à l'aide d'un ensemble de polygones
- **Soupe de Polygones** : suites de n-uplets de coordonnées 3D correspondants aux polygones
- **Maillages indexés** : graphe avec géométrie et topologie séparés
 - Une liste de sommets (V)
 - Une liste de relation topologique:
- Arêtes (Edge, E)
- Faces (F)
- En pratique, $\{V,F\}$ (example : OpenGL)

Exemple

- Ensemble de sommets (géométrie)
 - $v1 (x, y, z)$
 - $v2 (x, y, z)$
 - $v3 (x, y, z)$
 - $v4 (x, y, z)$
- Ensemble de faces (topologie)
 - $(v1, v2, v3)$
 - $(v1, v3, v4)$



Attributs aux sommets

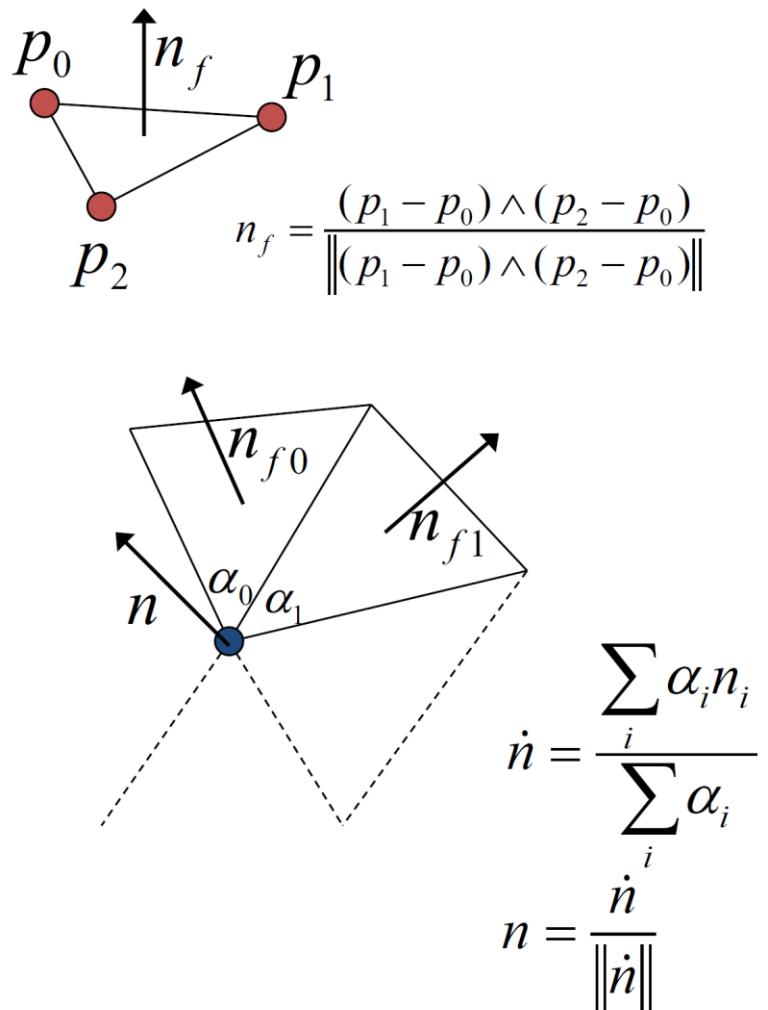
- Propriétés associées aux sommets (le plus souvent), arêtes ou faces → **Attributs**
- Attributs de sommets :
 - Position (« p »)
 - Vecteur normal (« n »)
 - Coordonnées paramétrique (« (u,v) »)
 - Apparence : couleur, indice de matériel, etc
 - Paramètres physiques pour la simulation – etc

Autres attributs

- Arêtes :
 - Plis vif (discontinuité du gradient)
- Faces :
 - Couleur

Normales

- **Essentielles pour le rendu**
 - BRDF
- Stockées par sommets
- Utiles pour certains traitement géométrique
 - Simplification
- Calcul :
 - Moyennes des normales des faces incidentes
 - Moyennes pondérée par les angles des arêtes incidentes
 - Plus robustes pour les distributions de triangles non uniformes



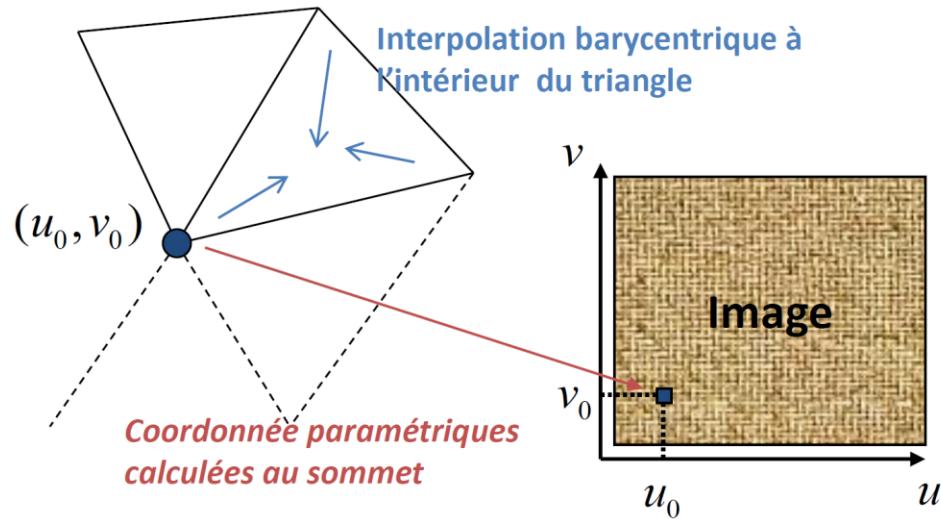
Coordonnées paramétriques

$$(u, v) \in \mathbb{R}^2 \quad \text{par convention:} \quad (u, v) \in [0,1]^2$$

Définition d'une propriété de surface à partir d'un fonction bi-variée:

$$\begin{aligned} f : \\ \mathbb{R}^2 &\rightarrow \mathbb{R}^n \\ u, v &\rightarrow c \end{aligned}$$

Exemple : valeur d'un pixel dans une images (« texture mapping »)



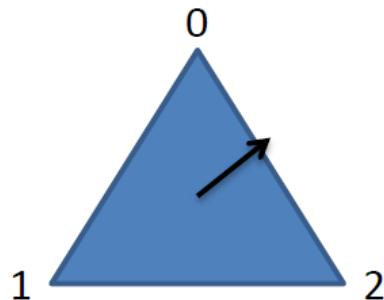
Définition de coordonnées paramétriques continues sur l'ensemble des sommets d'un maillage : Paramétrisation

Connectivité

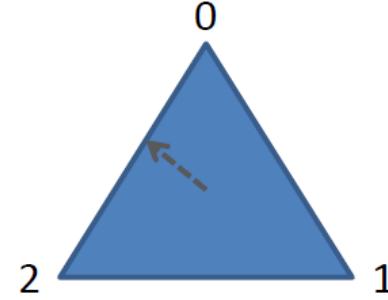
- 1-anneau voisinage (**1-voisinage**) d'un sommet v : ensemble des sommets reliés par une arête à v
- Valence d'un sommet : taille de 1-voisinage
- Maillage régulier :
 - Tous les sommets ont une valence régulière
 - Exemple :
 - valence 6 pour les maillages triangulaires
 - valence 4 pour les maillages quadrangulaires
- Maillage semi-régulier :
 - La plupart des sommets ont une valence régulière – Peu de sommets *extraordinaires* (valence irrégulière)
- Maillage arbitraire :
 - La plupart des sommets sont extraordinaire

Orientation

- Lorsque le maillage est une variété
- Basé sur l'ordre d'énumération des sommets pour une faces



Sens trigonométrique (CCW)



Sens inverse (CW)

Isotropie et Anisotropie

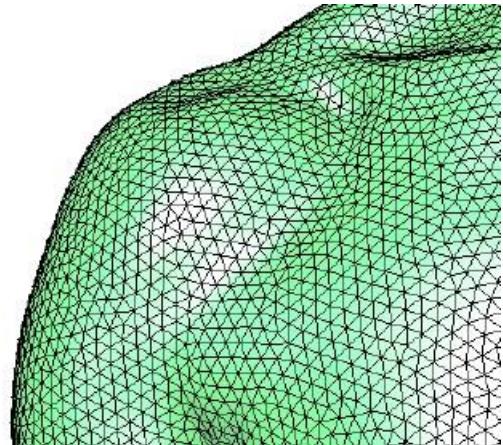
- Isotropie : les polygones ont une forme similaire sur tout le maillage

–Triangles quasi-équilatéraux

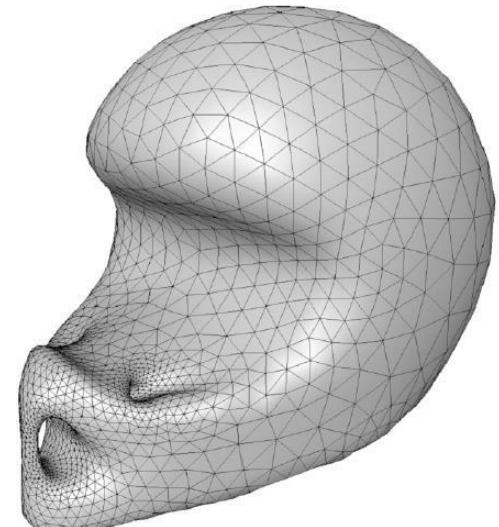
- Traitement géométrique numériquement plus stables
- «Neutralité» pour la déformation

–aucune restriction sur la taille

- Basée courbure
 - e.g, courbure moyenne



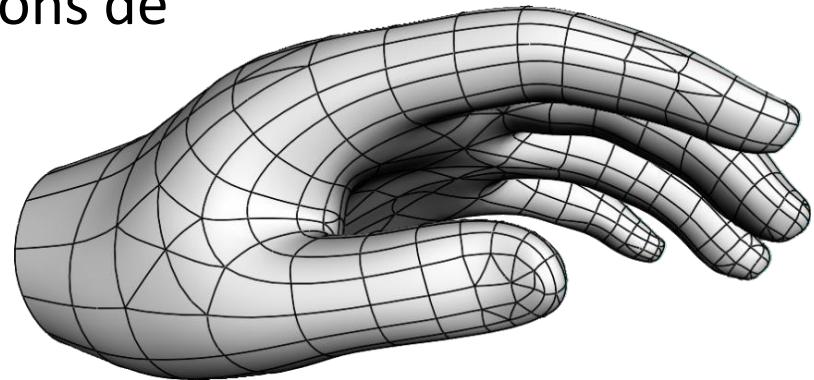
Maillage triangulaire isotrope



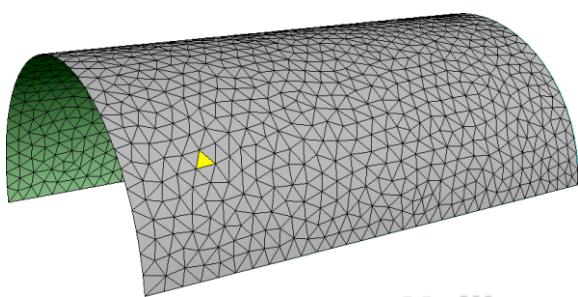
Maillage triangulaire basé courbure

Isotropie et anisotropie

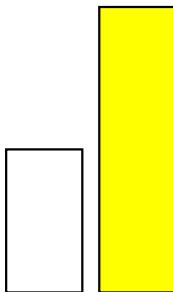
- Anisotropie : la forme des polygones suit la géométrie de la surface
 - Arêtes alignées sur les directions de courbures principales
 - Lignes de flots
 - Distances géodésiques
- Notion d'**optimalité** du maillage



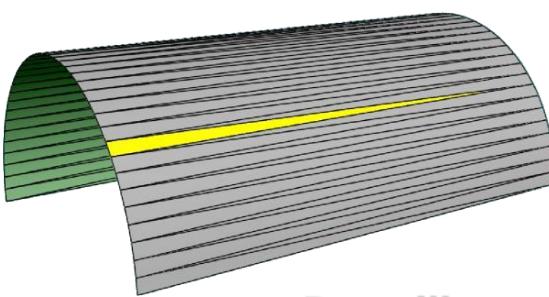
Isotropie et anisotropie



**Maillage
Isotope**



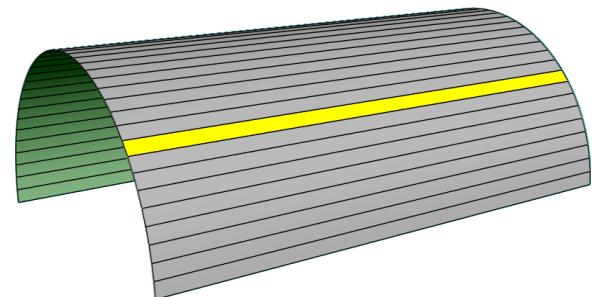
#V #F



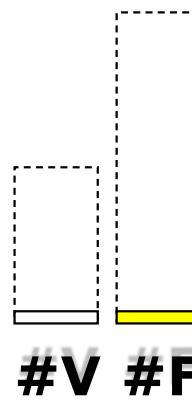
**Remaillage
Anisotrope**



#V #F



**Remaillage
Quad
Anisotrope**



#V #F

Applications

- Maillages très bien adaptés au rendu 3D
 - Format natif des cartes 3D (GPU)
 - Format natif des moteurs de rendu haute qualité
- (Renderman, MentalRay)
- Représentation naturelle pour le traitement géométrique
 - Reconstruction à partir de nuages de points, filtre, simplification, optimisation, raffinement, subdivision, etc...
 - Topologie arbitraire
 - Outils de géométrie discrète

Structures de données

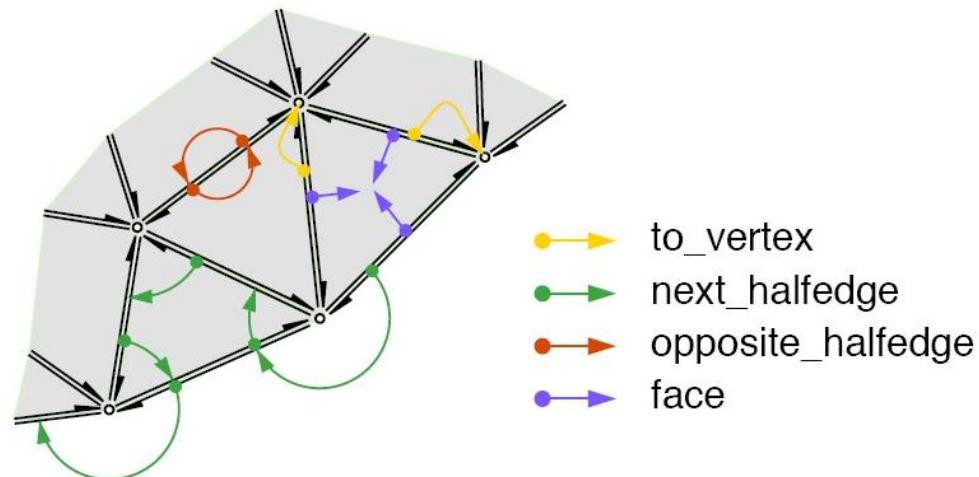
- Maillages indexés
 - Simple, format GPU natif pour le rendu
 - Pas d'accès direct et complet aux voisins d'un sommet
- Structure en Demi-Arête (*Half-Edge*)

Structure en demi-arêtes

Chaque arête est séparée en 2 demi-arêtes, orientées dans le sens trigonométrique de leurs faces respectives

Chaque demi-arête, on référence :

- un sommet
- sa face adjacente (nulle aux bords)
- la prochaine demi-arête sur la face (sens trigonométrique)
- la demi-arête opposée
- la demi-arête précédente (optionnel)



Maillage :

- Sommets
 - + pour chaque sommet : référence vers une de ses demi-arêtes relatives
- Faces
 - + pour chaque face : référence vers une de ses demi-arêtes relatives
- Collection de demi-arêtes

Implémentation demi-arêtes

Disponible en ligne :

```
struct Halfedge {  
    HalfedgeRef next_halfedge;  
    HalfedgeRef opposite_halfedge;  
    FaceRef face;  
    VertexRef to_vertex;  
};  
  
struct Face {  
    HalfedgeRef halfedge;  
};  
  
struct Vertex {  
    HalfedgeRef outgoing_halfedge;  
};
```

