

# Chapitre 06

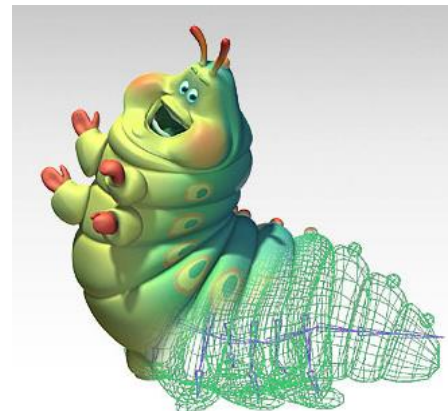
## Simplification de maillages

G. Gesquière

# Modèles surfaciques

## Les maillages

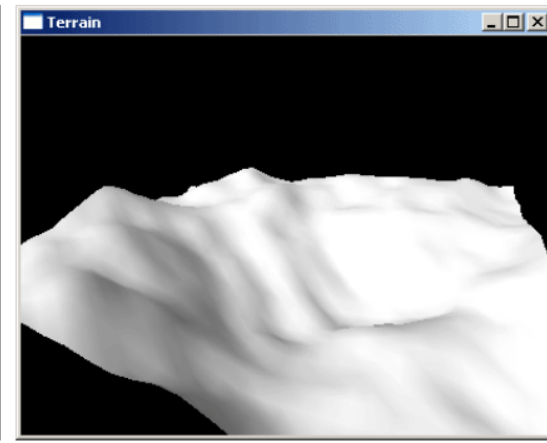
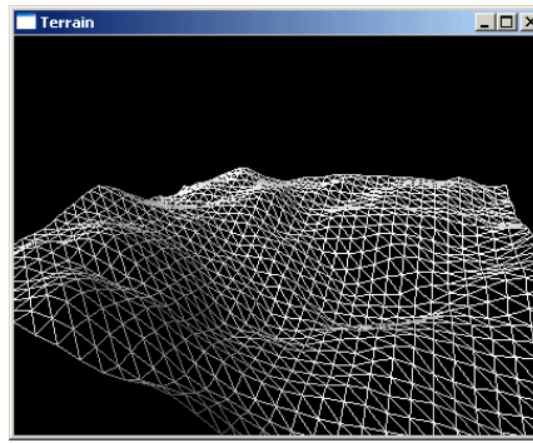
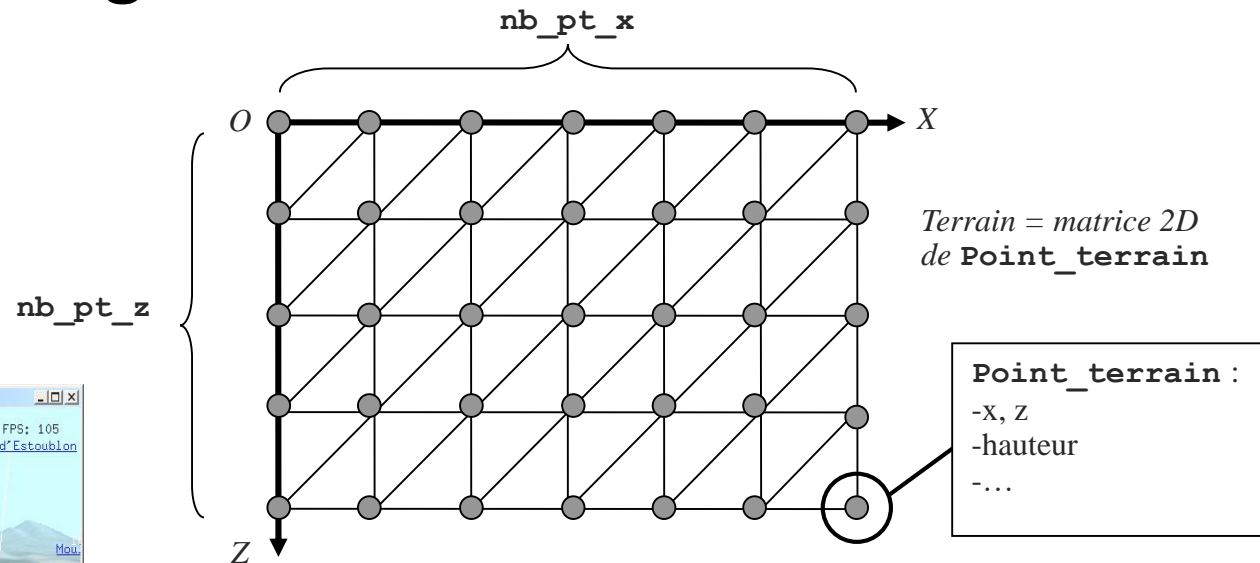
- Un complexe linéaire par morceaux : les surfaces sont représentées avec des polygones. Le simplexe pour une face est le triangle.
- La continuité globale est  $C0$  (discontinuité de normales au niveau des arêtes)
- Ils définissent la géométrie tout en donnant une topologie de la surface
- C'est actuellement une structure standard pour afficher des scènes complexes en 3D
- Leur visualisation et leur manipulation est optimisée par la grande majorité des cartes graphiques actuelles.



# Modèles Surfacing

## Les maillages

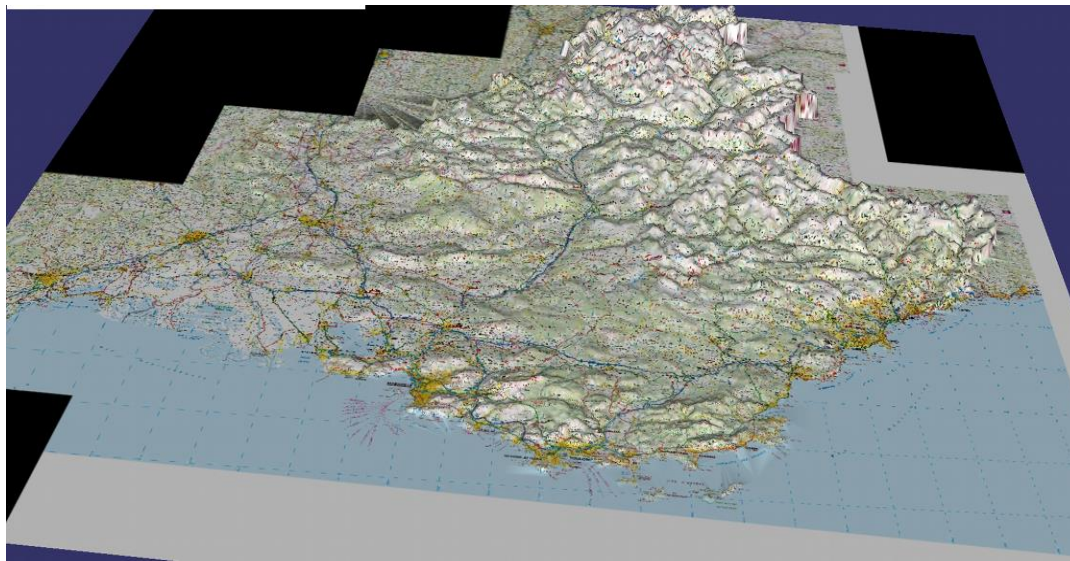
### ■ Exemple de maillage uniforme



# Modèles Surfacing

## Les maillages

- Exemple des terrains
  - **Problème** : Un terrain peut parfois représenter des millions de faces.
  - Impossible d'afficher en temps réel une zone de plusieurs  $\text{km}^2$  (nécessaire pour des simulateurs de vol par exemple)



# Modèles Surfacing

## Les maillages



*Grand Canyon*

*4,097 x 2,049 sommets ~ 16.7 millions de triangles*

➔ Il existe de nombreuses techniques de simplification / raffinement

# Simplification de maillages

- Simplification de maillage (ou décimation) : classe d'algorithme qui transforme un maillage polygonal en un autre composé de moins de faces, arêtes et sommets
- Le processus de simplification est contrôlé par un ensemble de critères de qualité définis par l'utilisateur. Ils peuvent préserver des propriétés spécifiques d'un maillage original autant que possible (e.g, distance géométrique, apparence visuelle, ...)
- La simplification de maillage permet de réduire la complexité d'un maillage donné

# Simplification de maillages

- Les schémas de simplification marchent en général de façon itérative (i.e en enlevant un sommet/ une arête à un temps donné) et est réversible; il est possible de transmettre le résultat final suivi par les opérations de « réversibilité »
- Un schéma de simplification peut être vu comme un opérateur de décomposition permettant d'obtenir une composante basse fréquence (i.e le maillage décimé) et une haute fréquence (i.e la différence entre le maillage original et le maillage décimé). Enfin, un opérateur de reconstruction peut fournir un opérateur inverse de décimation afin de retrouver les données d'origine à partir de la composante basse fréquence



# Modèles surfaciques

## Pourquoi Simplifier des maillages ?

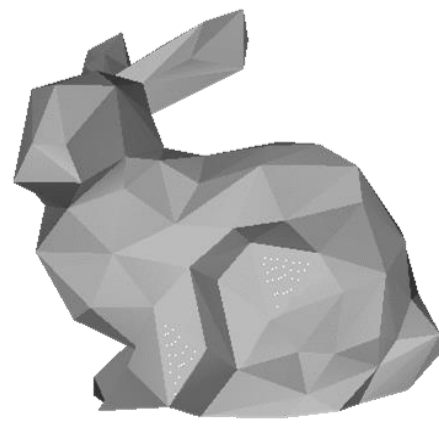
- Représentations à plusieurs niveaux de détail (LOD: Levels Of Details)



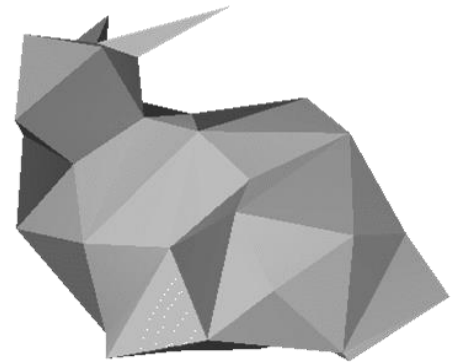
69,451 polys



2,502 polys



251 polys



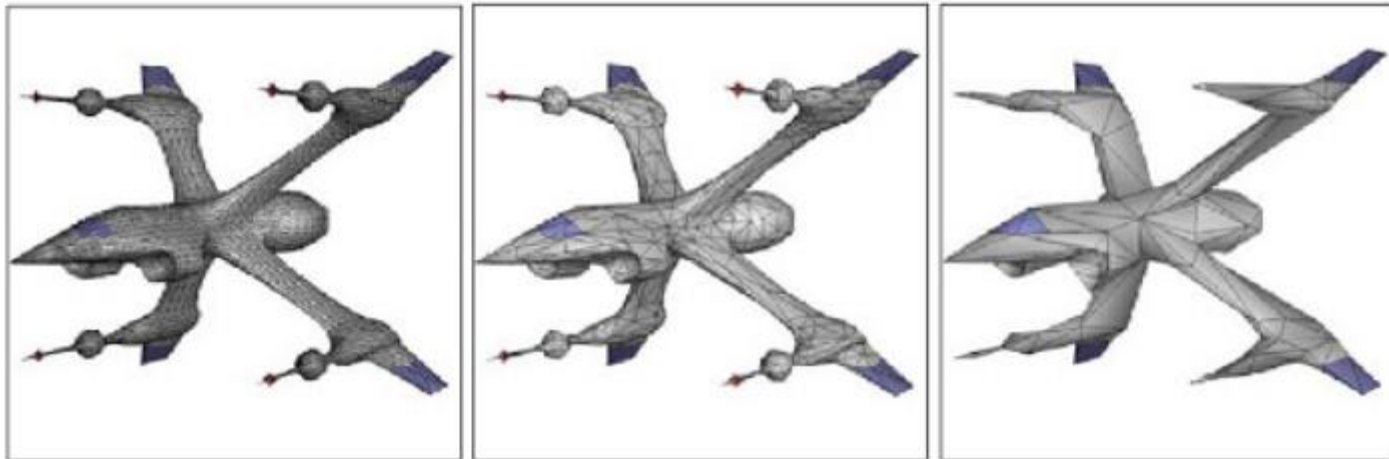
76 polys

Courtesy Stanford 3D Scanning Repository



# Niveau de détail : Principe

- Pour chaque objet dans la scène
  - Stocker les différentes versions
  - Choisir la version appropriée
- Comment construire la version simplifiée ?
  - Combien ? Quel degré de simplification ?
- Comment choisir la version appropriée

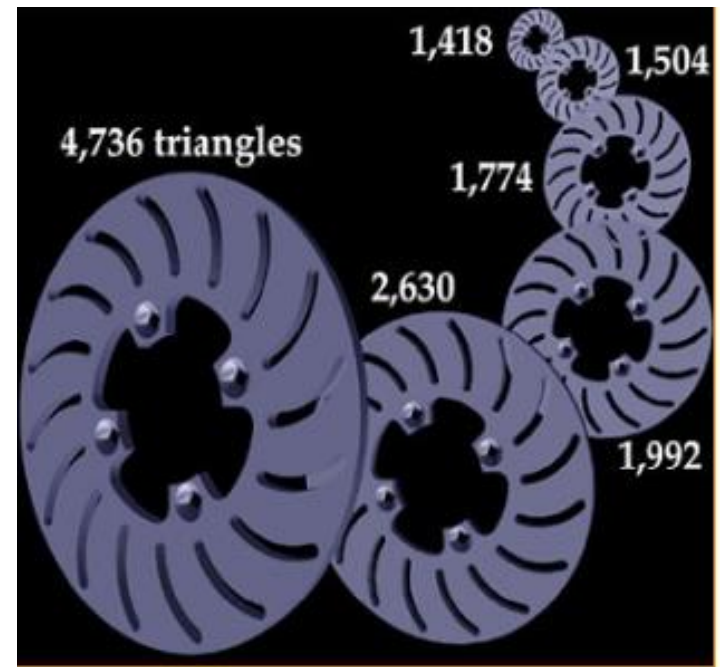


# Framework de simplification

- Préservation de la topologie
- Opérateurs locaux
  - Marche sur les sommets, arêtes ou faces
  - Fait décroître localement le nombre de polygones
- Opérateurs globaux
  - Traite l'objet dans sa globalité
  - Ressemble plus à du ré échantillonnage

# Préservation de la topologie

- Maintenir le genre de l'objet
- Ne pas fusionner certaines parties
- Limite la simplification
- N'est pas toujours requis

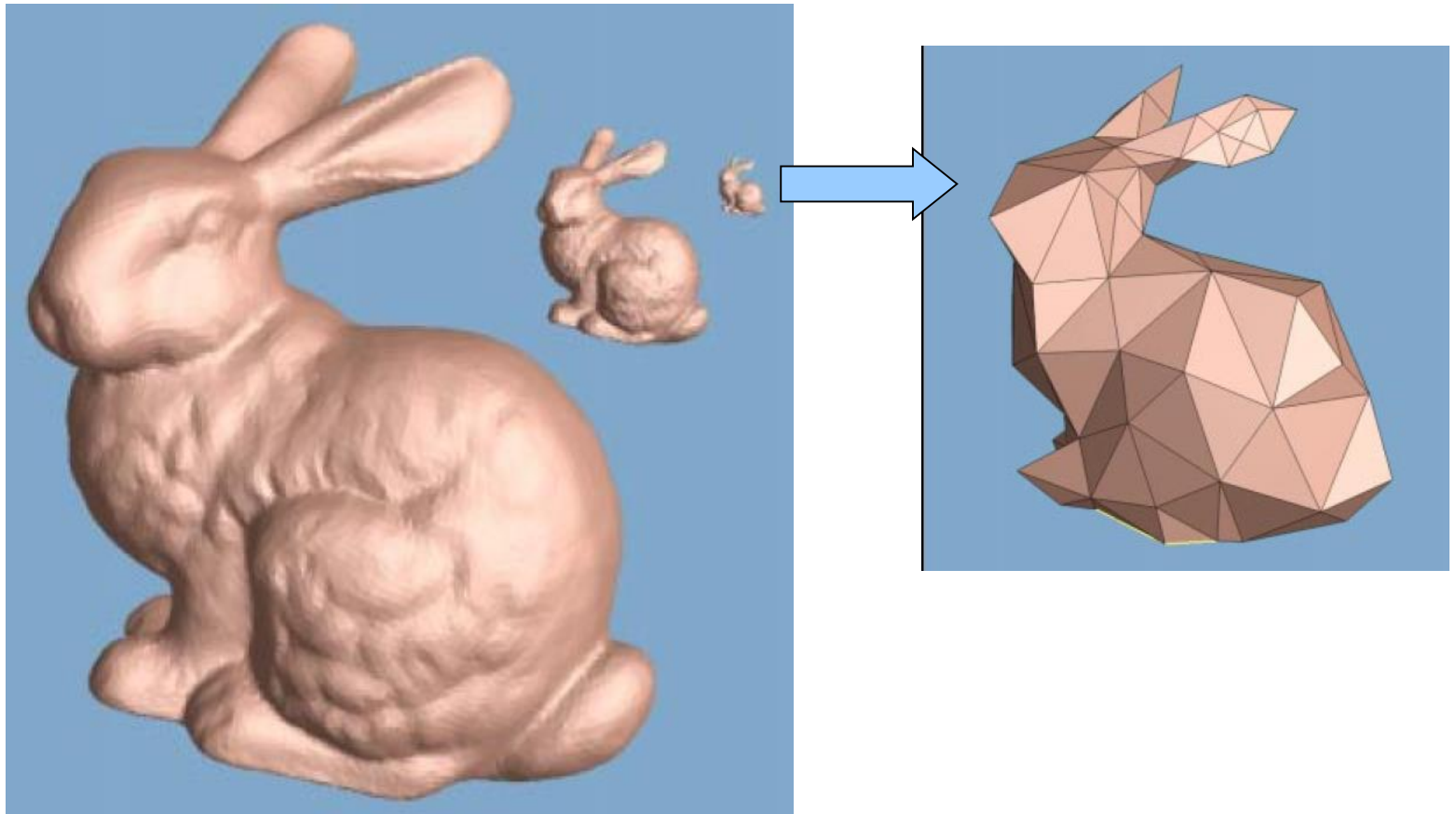


# Niveau de détails

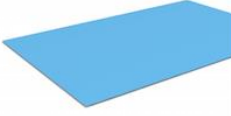

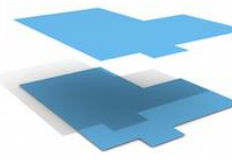

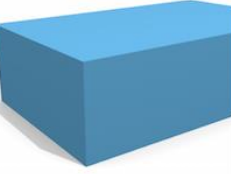
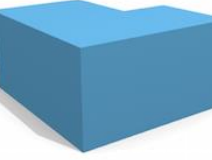
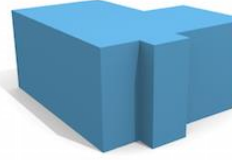









- Agir sur la géométrie des objets
  - Rendu dépendant du point de vue
  - Rendu de scènes comportant un grand nombre d'objets (surtout pour la navigation interactive)
  - Visualisation de terrains
  - Transmission progressive de la géométrie via le réseau
  - etc
- Trois types de LOD
  - Discret
  - Continu
  - Dépendant du point de vue

# LOD discret- Lié au point de vue

- Différentes représentations du même objet sont calculées, chacune à un niveau de détail différent. Pendant l'exécution de l'application, une représentation de l'objet est sélectionnée et visualisée.



# LOD discret- Lié aux besoins

	LOD x.0	LOD x.1	LOD x.2	LOD x.3
LOD0	 LOD0.0	 LOD0.1	 LOD0.2	 LOD0.3
LOD1	 LOD1.0	 LOD1.1	 LOD1.2	 LOD1.3
LOD2	 LOD2.0	 LOD2.1	 LOD2.2	 LOD2.3
LOD3	 LOD3.0	 LOD3.1	 LOD3.2	 LOD3.3

Exemple de  
bâtiments

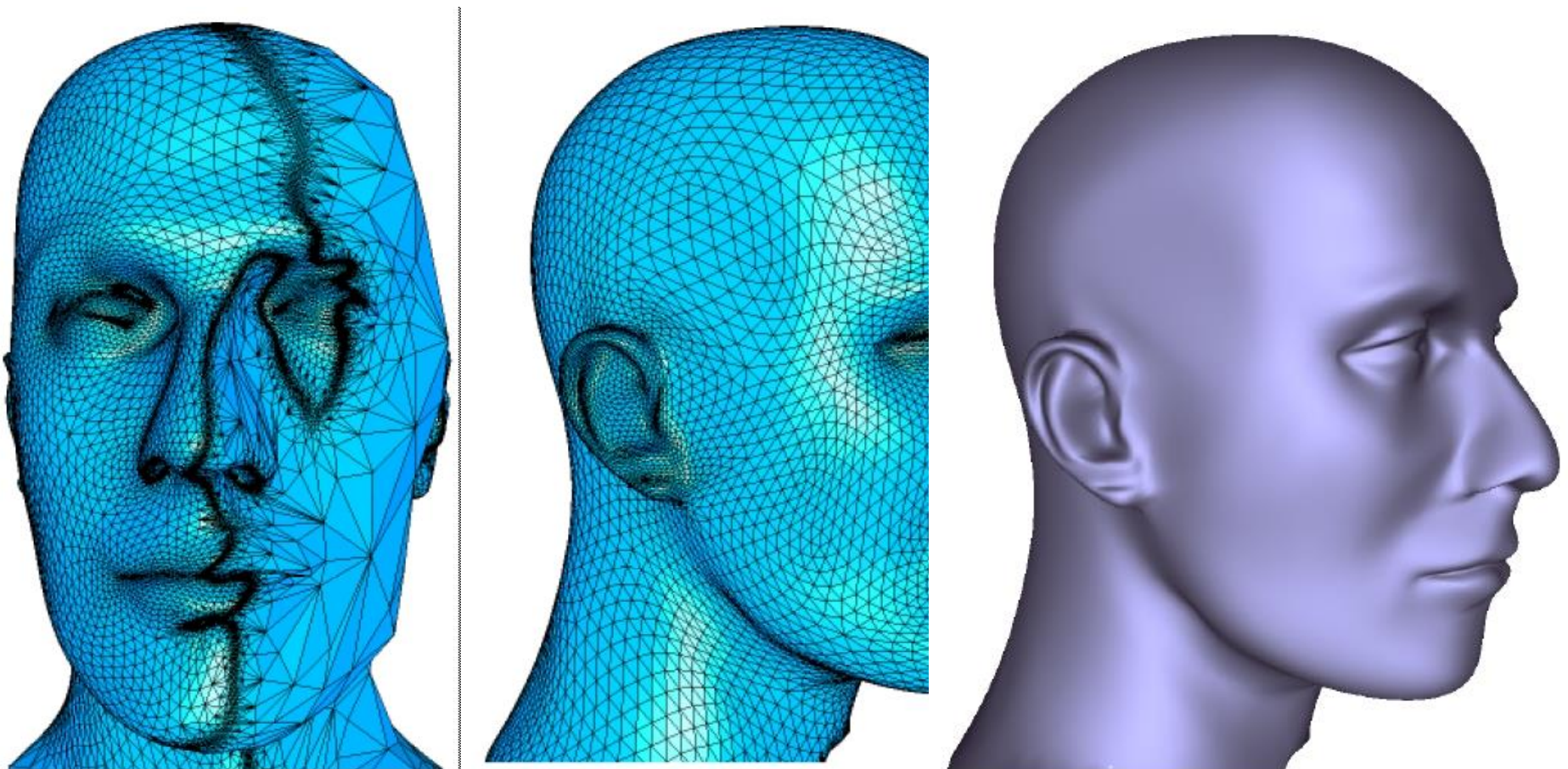
# LOD continu

- Une seule structure représentant l'objet avec une représentation continue des détails. On peut adapter la résolution de l'objet au polygone près et ainsi utiliser le nombre exact de polygones pour représenter l'objet à la définition souhaitée. La géométrie est modifiée au cours de l'exécution de l'application.



# LOD dépendant du point de vue

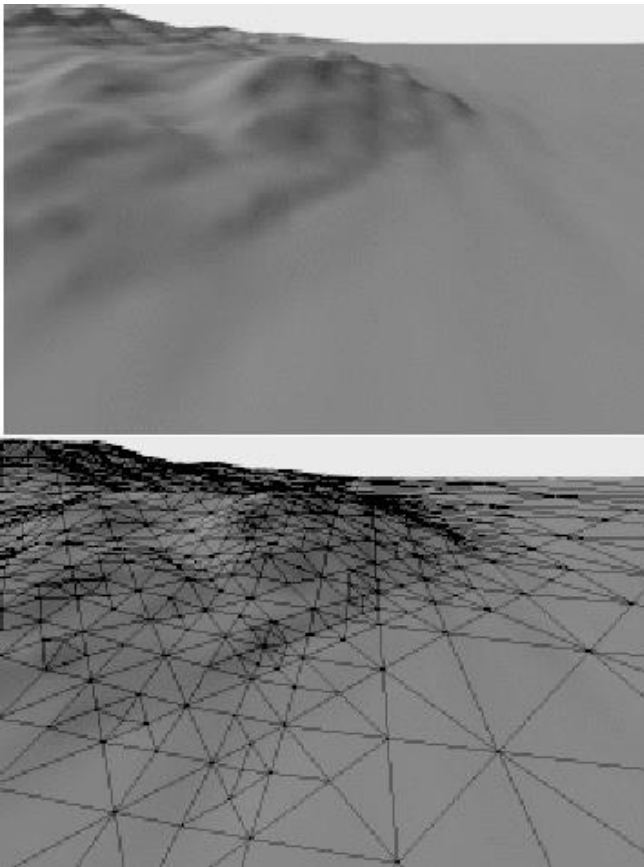
- C'est une extension des LOD continus qui intègre un critère de simplification qui est dépendant du point de vue. Ainsi cette représentation est anisotrope: différentes zones du même objet sont visualisées à des niveaux de détail différents.



# LOD dépendant du point de vue

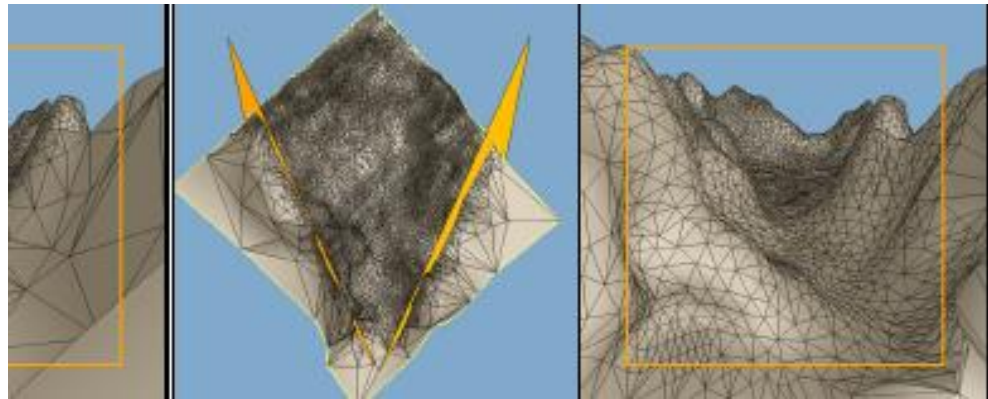
- **LOD : ROAM (Real-time Optimally Adapting Meshes)**

- Génération de triangles à la volée en fonction du point de vue.



- **Progressive meshes.**

- **Pré- calcul de la simplification**

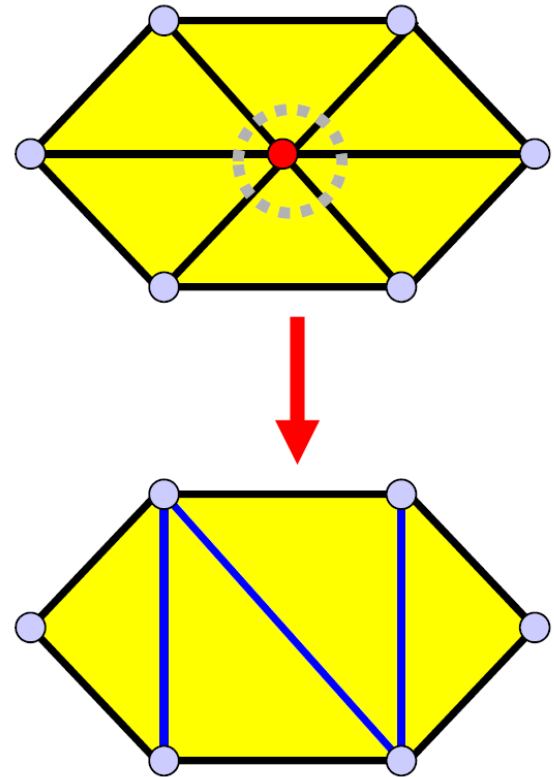


# Opérations topologiques permettant la simplification du maillage

- Il existe des opérateurs permettant de décimer le maillage tout en préservant la topologie du maillage
- Les opérateurs usuels incluent :
  - Vertex removal (inverse: vertex insertion)
  - Edge collapse (inverse: edge split)
  - Half edge collapse (inverse: restricted vertex split)

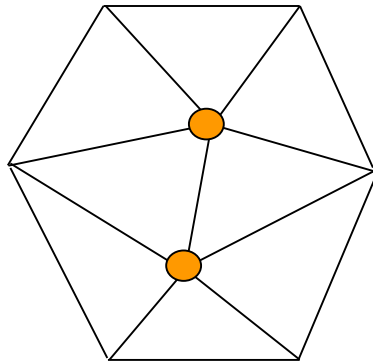
# Vertex Removal

- Vertex removal deletes a vertex and its adjacent
- edges and faces, creating a  $k$ -side hole, where  $k$  is the valence of the vertex.
- This hole is triangulated by adding  $k-2$  triangles back.
- Thus, the # of vertices and # of triangles are reduced by 1 and 2, respectively.



# simplification- Méthodes locales- Edge collapse

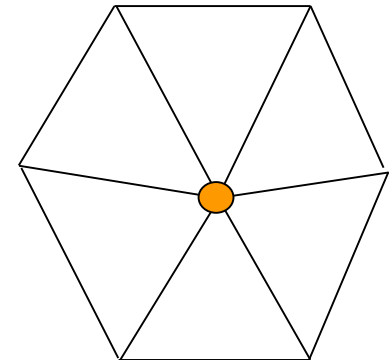
- Cet opérateur transforme une arête en un sommet. L'opérateur inverse appelé "vertex split" ajoute une arête et le triangle qui lui est adjacent.



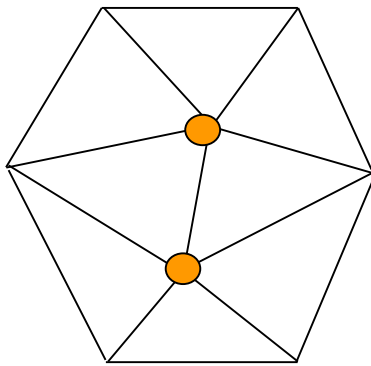
Edge collapse



Vertex split



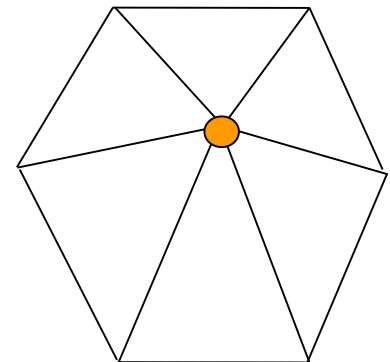
- Variante : "half edge collapse" où le nouveau sommet est une des extrémités de l'arête supprimée.



Half edge collapse



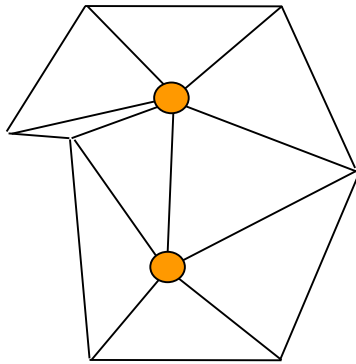
Vertex split



# Simplification : Méthodes locales

## Quand ne pas utiliser “Edge collapse”

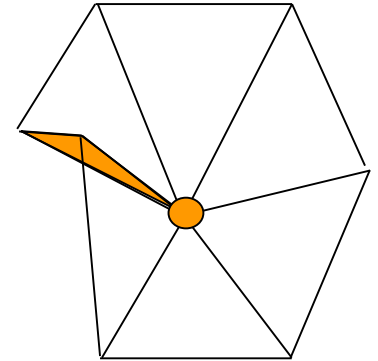
- Attention au problème de recouvrement:



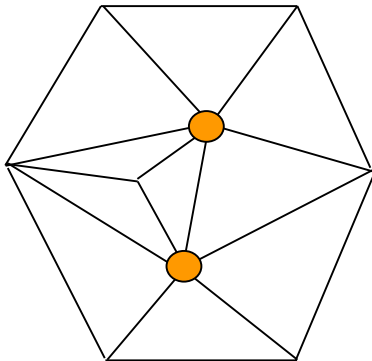
Edge collapse



Vertex split



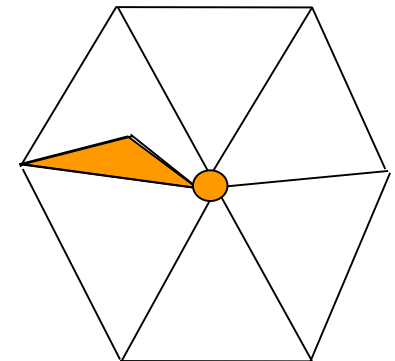
- Le maillage peut aussi devenir non conforme (forme des faces)



Edge collapse

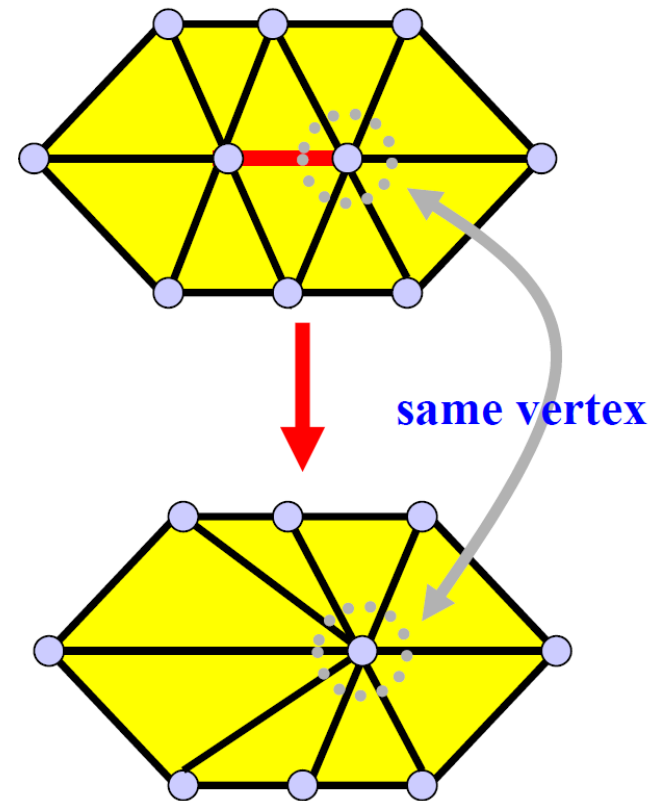


Vertex split



# Half-Edge Collapse

- Pour une arête sélectionnée, avec les sommets adjacents  $p$  et  $q$ , l'opérateur half-edge collapse déplace  $p$  en  $q$  ou  $q$  en  $p$
- C'est un cas special de l'opérateur précédent.
- Notons que bouger  $p$  en  $q$  et bouger  $q$  en  $p$  sont deux opérations différentes
- Pas de degré de liberté (choix fait au début)





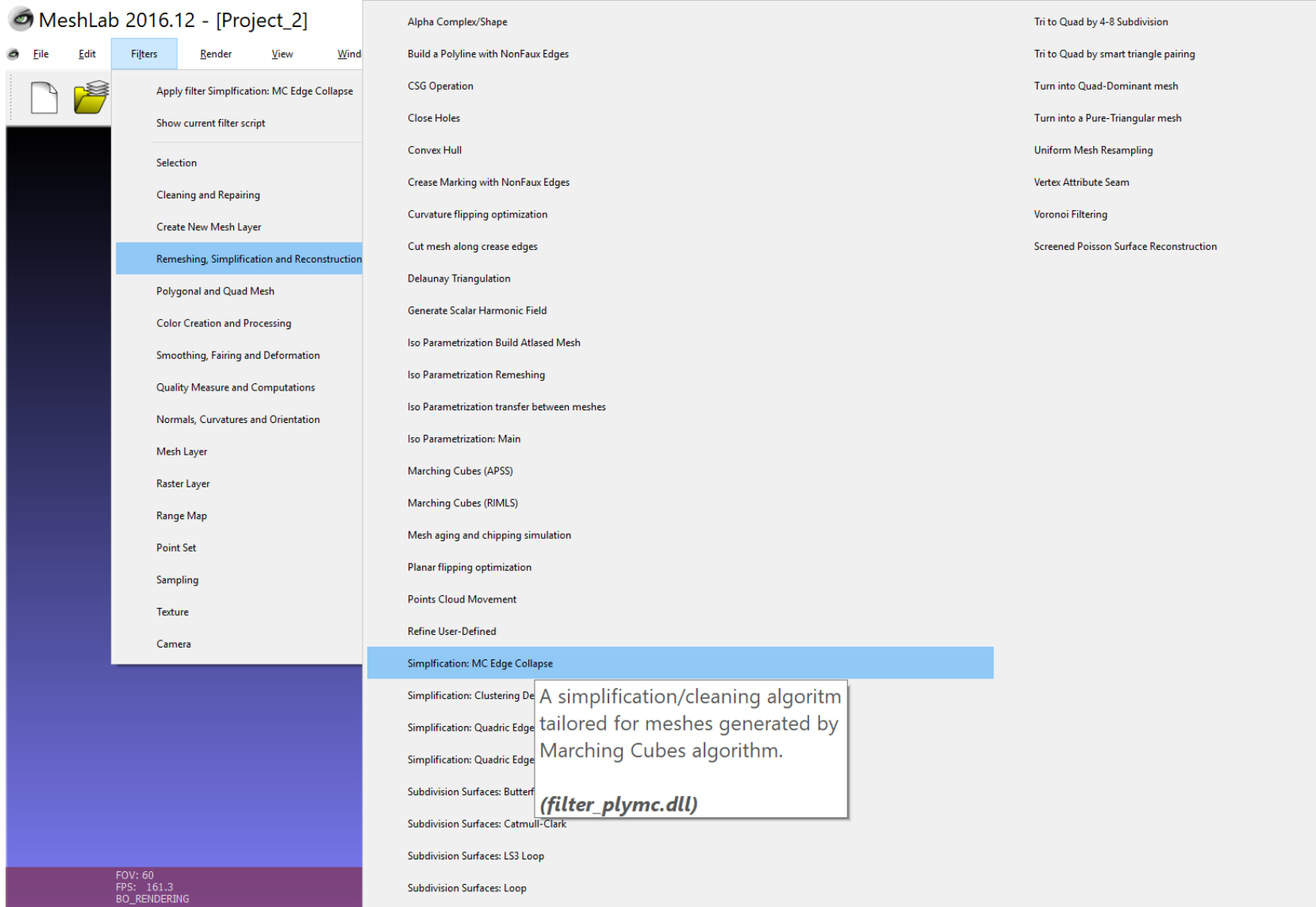
# Simplification : Méthodes locales

## Polygon merging

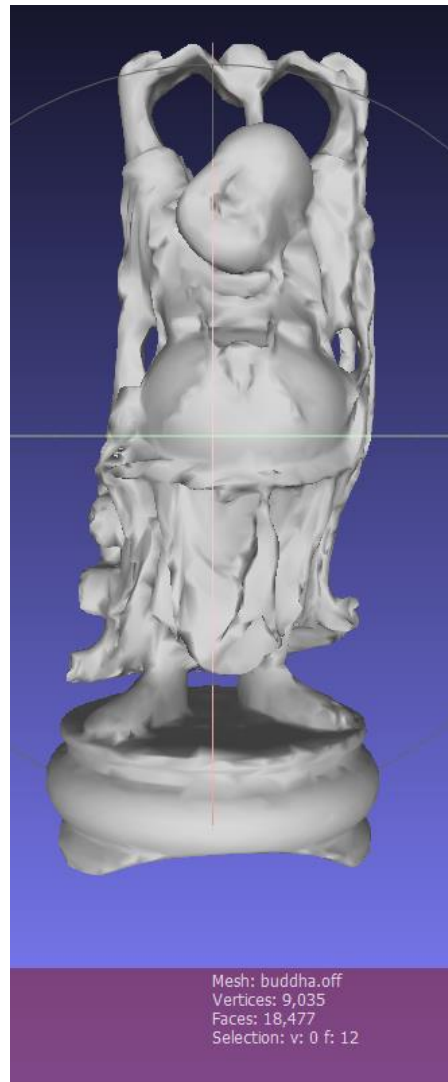
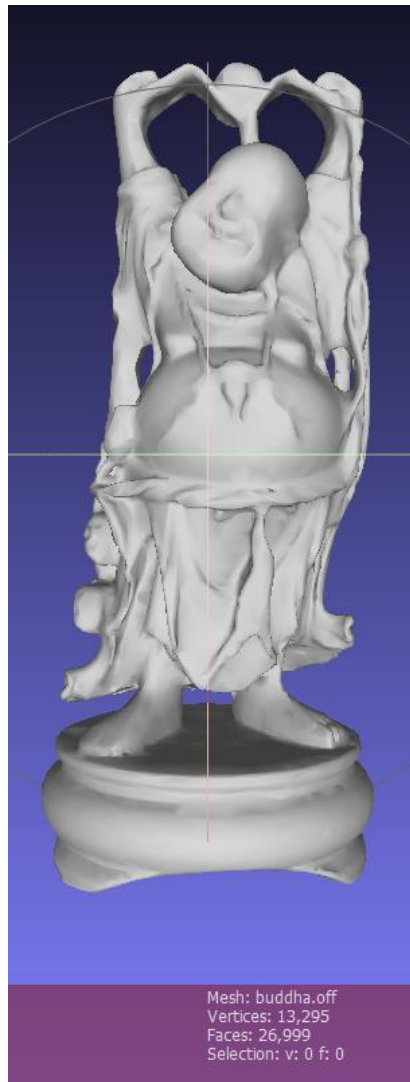
- Plusieurs polygones presque coplanaires et adjacents sont fusionnés en un seul polygone puis le nouveau polygone est triangulé.
  - Cet opérateur généralise "vertex removal" (On enlève un sommet avec ses arêtes adjacentes. Le trou obtenu est alors triangulé. )
  - Il peut être appliqué à un maillage composés de polygones quelconques (pas seulement des triangles).
  - Plusieurs sommets peuvent être éliminés en une seule fois.
  - Peut boucher les trous.

**Incremental Decimation:** It can deliver higher quality meshes in most cases, and can take arbitrary user-defined criteria into account according to how the next removal operation is chosen.

# Simplification MC Edge Collapse



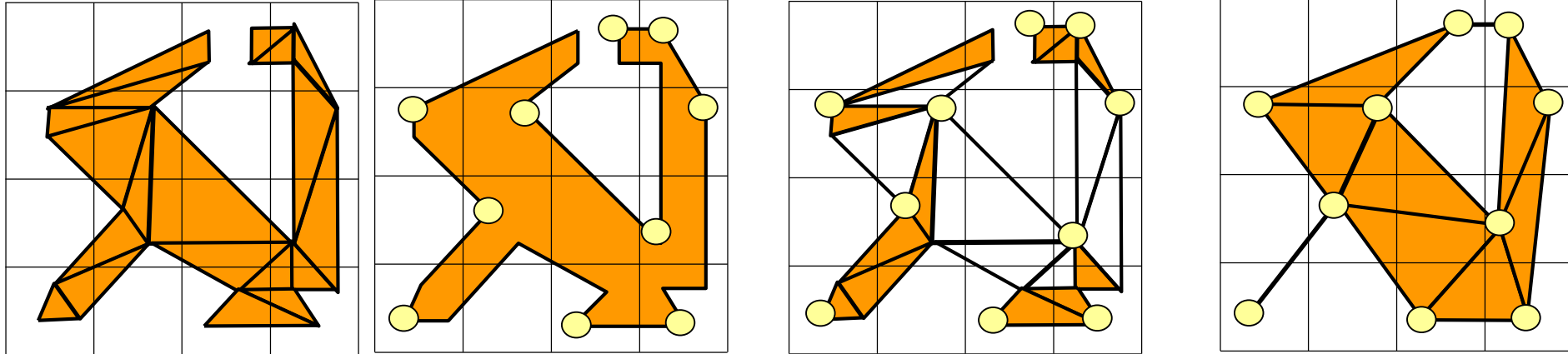
# Simplification MC Edge Collapse



# Simplification : Méthodes locales

## Cell Collapse

- Tous les sommets qui sont dans un certain volume (cellule) sont unifiés en un sommet unique.

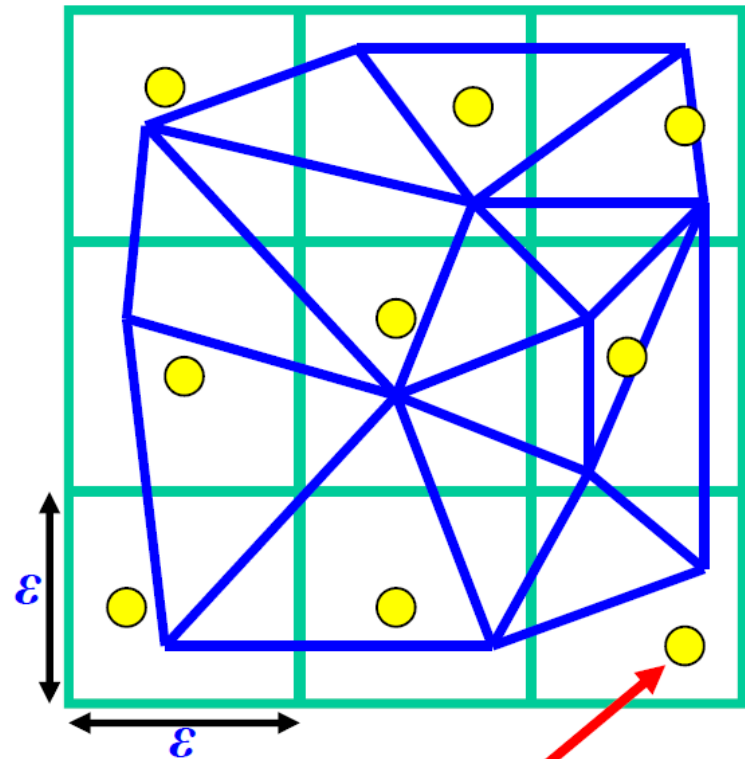


- Les sommets du maillage sont tout d'abord placés dans une grille régulière
  - Tous les sommets étant dans une même cellule sont unifiés en un seul
  - Tous les triangles qui ont 2 ou 3 de leurs sommets dans une même cellule sont simplifiés en une arête ou un sommet
- C'est un opérateur plus global que les précédents, mais il ne préserve pas la topologie. Le niveau de simplification dépend de la résolution de la grille.

**Vertex Clustering:** En général rapide et robuste et de complexité  $O(n)$ , avec  $n$  le nombre de sommets; Néanmoins, la qualité n'est jamais très satisfaisantes

# Vertex clustering 1/4

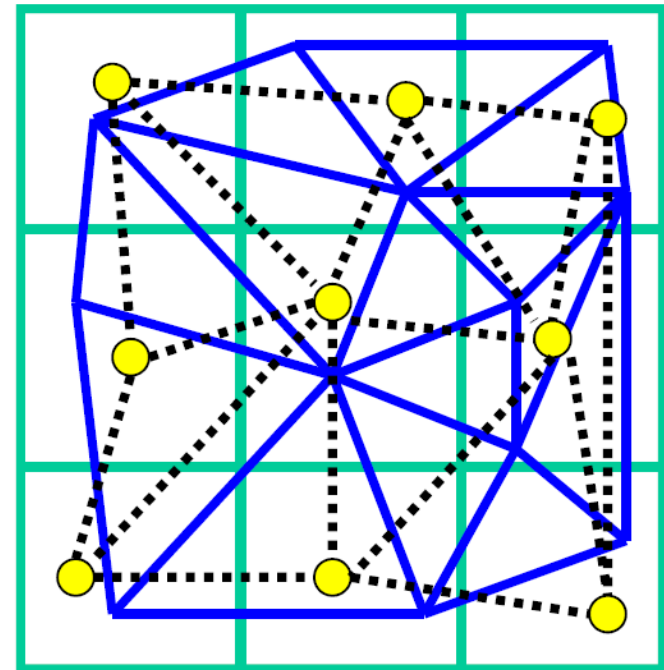
- Pour une tolérance  $\varepsilon > 0$ , un espace englobant le maillage est partitionné en cellules de taille  $\leq \varepsilon$ .
- Pour chaque cellule, un sommet représentatif est calculé (voir calcul plus tard). Si une cellule a plus d'un sommet, ils seront tous fusionnés en un seul sommet représentatif



representative vertex

# Vertex clustering 2/4

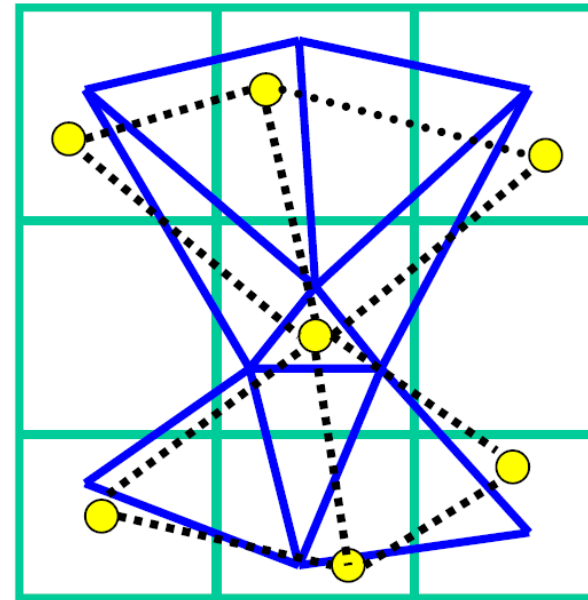
- Puis les triangles dégénérés sont enlevés.
- Si  $P$  et  $Q$  sont des sommets représentatifs de  $p_0, p_1, \dots, p_m$  et  $q_0, q_1, \dots, q_n$ , respectivement,  $P$  et  $Q$  sont connectés dans le maillage décimés si au moins une paire de sommets  $(p_i, q_j)$  étaient connectés dans le maillage original.



**solid: original mesh**  
**dotted: new mesh**

# Vertex clustering 3/4

- Le maillage resultant n'est pas forcément 2-manifold même si le maillage original l'est, car une portion de surface peut se retrouver devenir un point.
- Néanmoins, cela réduit de façon significative la complexité du maillage et garantie une approximation global du maillage initial.



**solid: original mesh**

**dotted: new mesh**



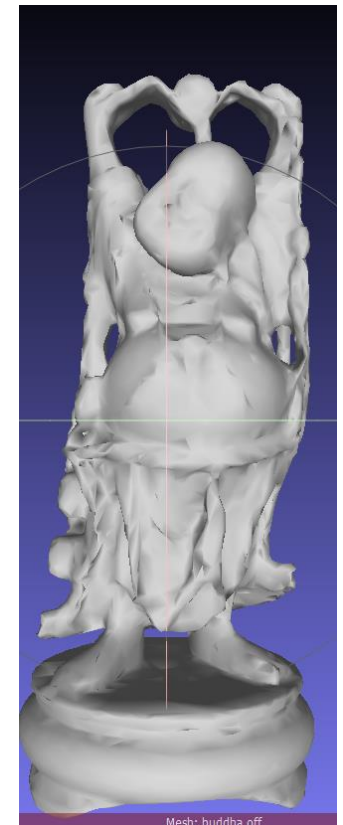
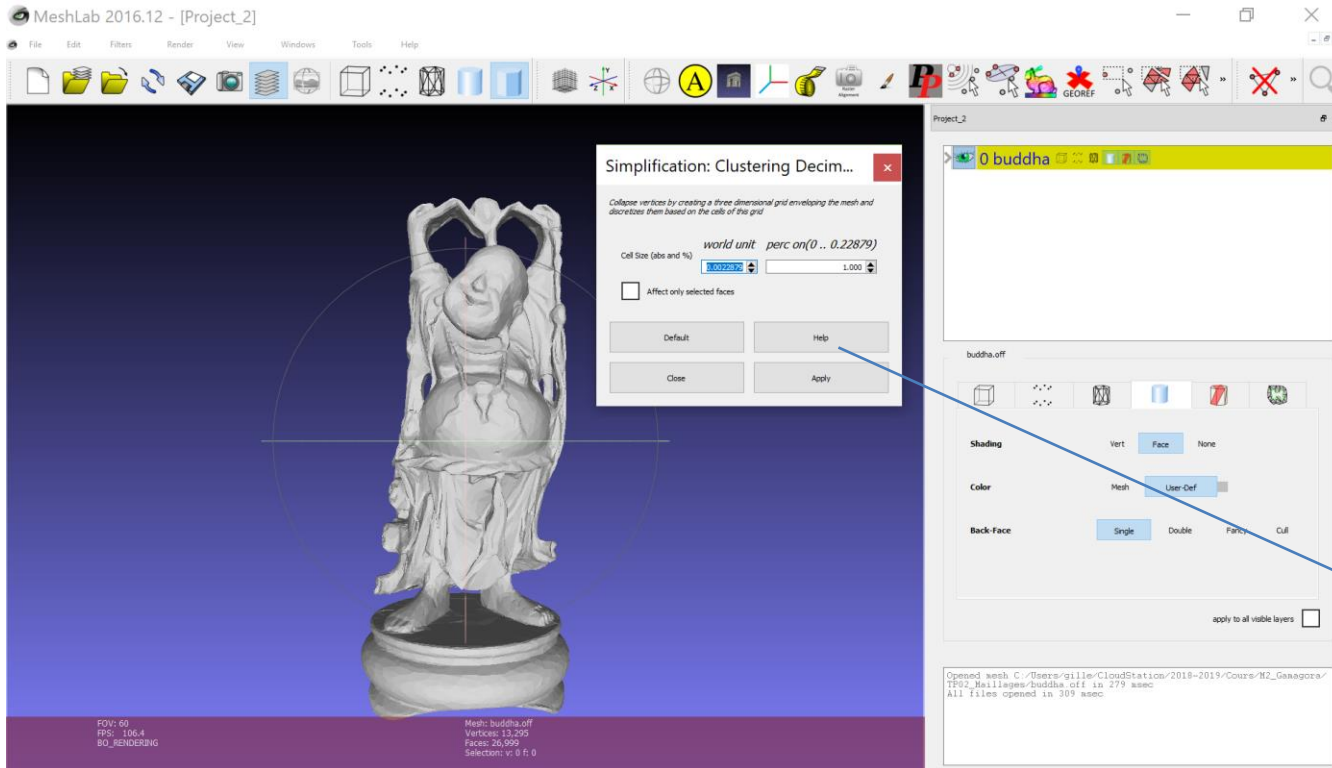
# Vertex clustering 4/4

- Comment calculer les sommets représentatifs ?
  - La méthode la plus simple consiste à faire la moyenne des coordonnées des sommets qui appartiennent à une même cellule. Si  $P_1, P_2, \dots, P_k$  sont des sommets dans une même cellule, alors le sommet représentatif est  $P = (P_1 + P_2 + \dots + P_k)/k$ .
  - On peut aussi prendre en compte l'importance de chaque sommet (du maillage) en leur assignant un poids  $w_i \geq 0$  à chaque sommet  $P_i$ . Alors, le sommet représentatif de  $P_1, P_2, \dots, P_k$  dans une même cellule est la moyenne pondérée :

$$\mathbf{P} = \frac{w_1 \mathbf{P}_1 + w_2 \mathbf{P}_2 + \dots + w_k \mathbf{P}_k}{w_1 + w_2 + \dots + w_k}$$

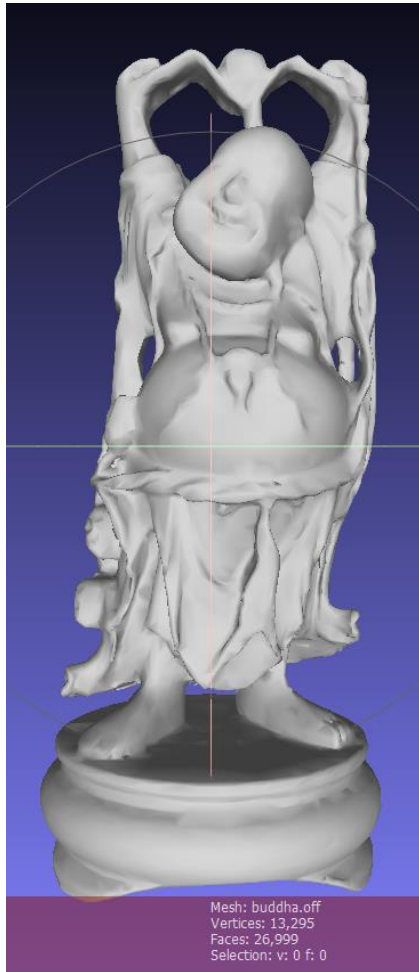
# Vertex clustering

- 0.0022879

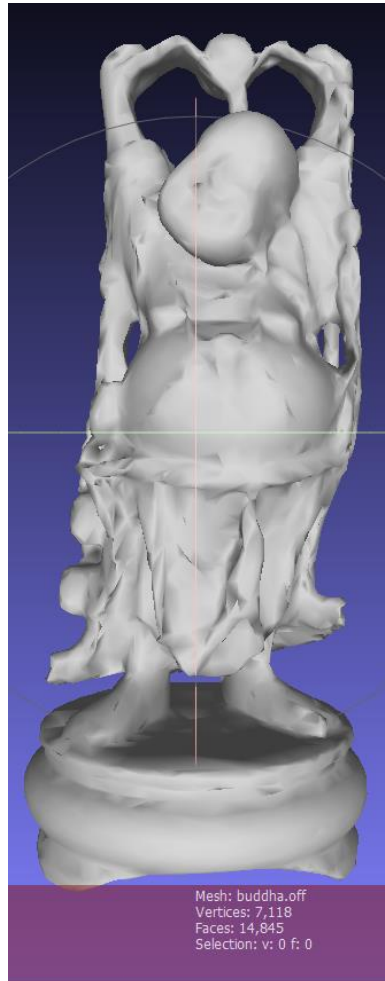


# Vertex clustering

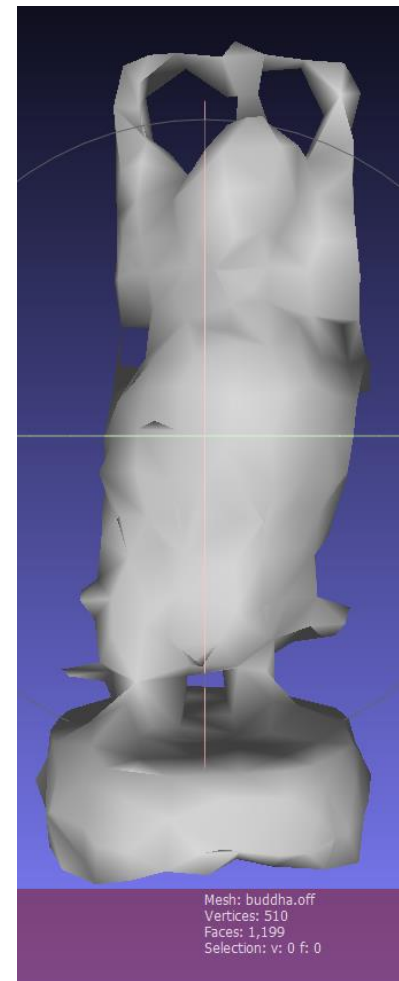
0.0022879



0.0068637



0.0091516



# Métriques d'erreur

- Pourquoi mesurer l'erreur ?
  - Permet de guider le processus de simplification
  - Permet de connaître la qualité des résultats
  - Permet de savoir quand montrer un LOD particulier
  - Permet d'équilibrer la qualité dans la scène
- Les éléments clés
  - Erreur géométrique
  - Erreurs liée aux attributs
- Possible d'avoir une erreur incrémentale ou une erreur totale

# Métrique d'erreur- Erreur géométrique

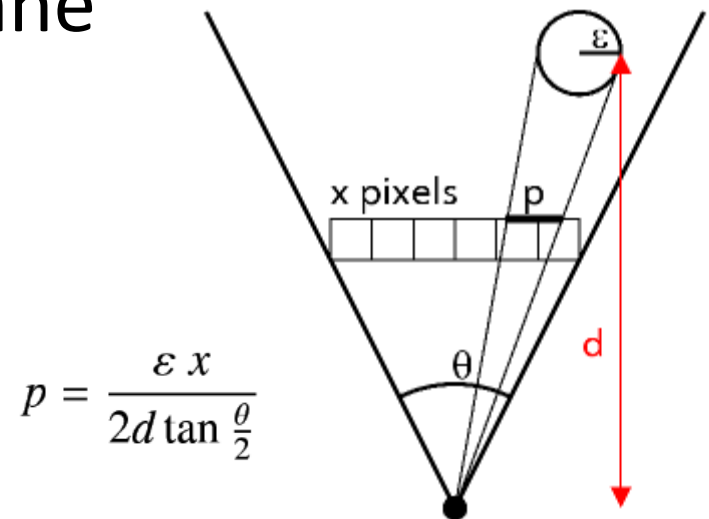
- Comment mesurer la distance entre deux surfaces

- Distance de Hausdorff
- Approximations

- Erreur maximum vs Moyenne
- Erreur liée à l'espace écran

$$h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\|$$

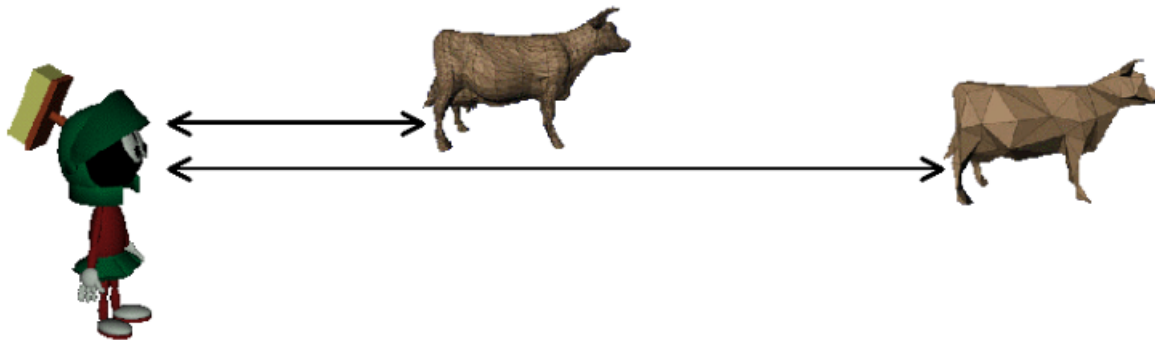
$$H(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A))$$



$$p = \frac{\epsilon x}{2d \tan \frac{\theta}{2}}$$

# Sélection de LoD

- Type de LoD
  - Discret, continu, dépendant de la vue
  - Critère de sélection
    - Distance
    - Taille de l'écran
    - Facteurs perceptuels, conditions liées à l'environnement
  - Mélange entre les transitions
    - Alpha blending
    - géomorphologie



# Simplification structurelle d'objets

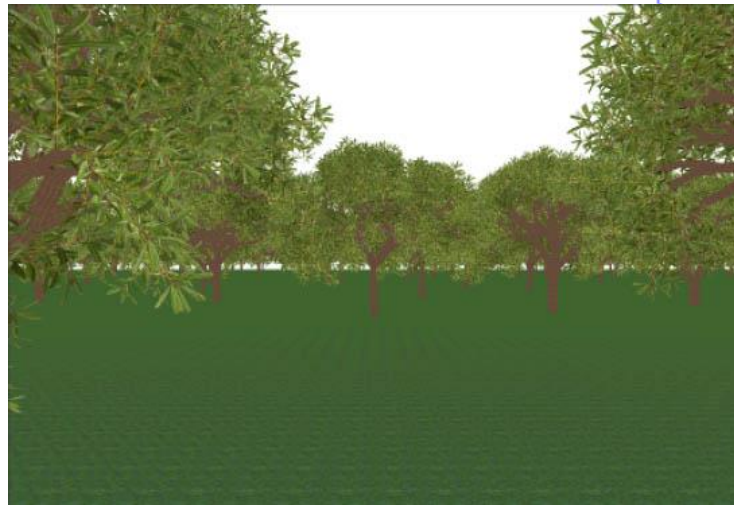
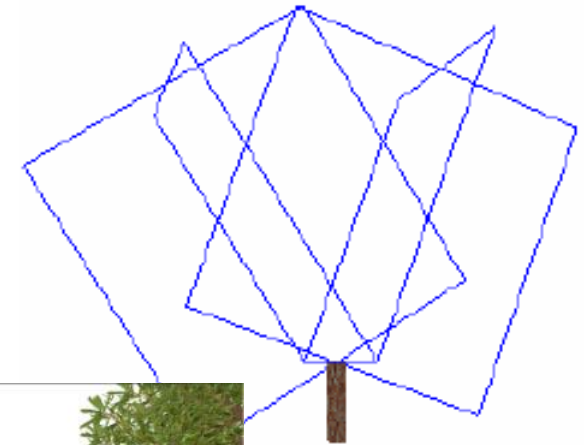
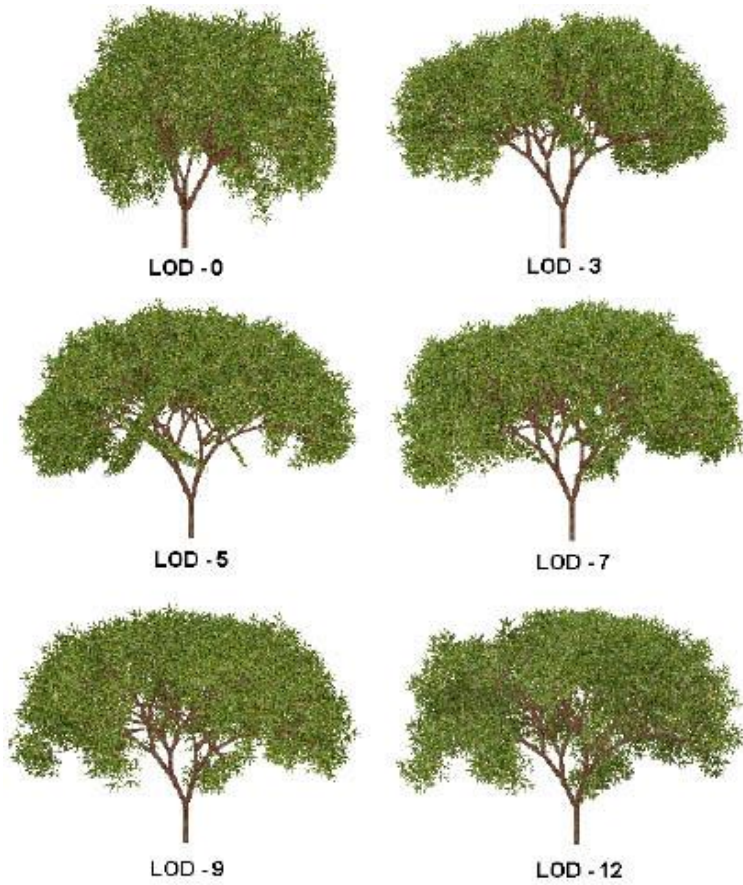
- Ces méthodes changent la structure de représentation des objets.
- Ex: remplacer un objet polygonal par une boîte englobante texturée à l'aide d'une image produite à partir d'une version détaillée de l'objet.
- LOD ainsi créés = ***imposteurs***
- Problèmes :
  - dépendant souvent du point de vue.
  - éclairage.



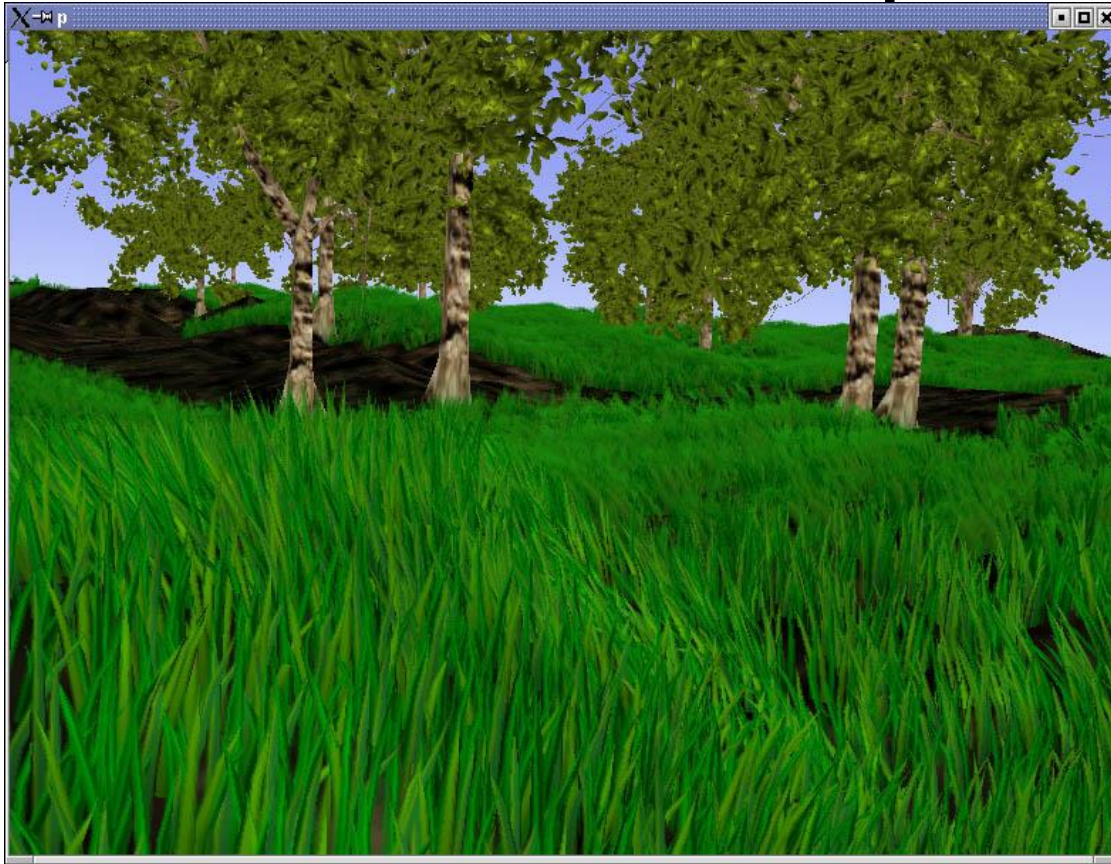
# Imposteurs

## Arbres

**1ère technique** : arbres représentés avec plus ou moins de facettes et de quadrilatères texturés.



# 3D + imposteurs



*Au loin : simple texture verte.*

*De plus loin : texture semi-transparente de brins d'herbe plaquée sur des polygones.*

*De prêt : brins d'herbe représentés individuellement en 3D.*

*Frank Perbet (Imagis, Grenoble)*

<http://www-evasion.imag.fr/Membres/Frank.Perbet/prairie/presentation.html>

# Simplifier ou subdiviser ?

- But : Avoir accès au même objet, mais avec des représentations ayant un nombre différent de polygones. Il s'agit donc de créer une hiérarchie de maillages. Ces hiérarchies peuvent être :
  - "Bottom-top": On part du modèle détaillé (les feuilles de la hiérarchie) et on va jusqu'à la forme la plus simplifiée. Les approches que l'on a vu jusqu'à maintenant, vont dans ce sens.
  - "Top-down": On part de la version simplifiée (la racine) et on ajoute progressivement des détails jusqu'à la représentation la plus fine. Des approches par surfaces de subdivision ou d'ondelettes suivent cette approche.