

Cours

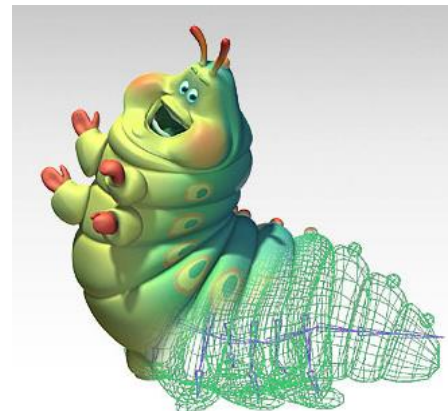
Simplification de maillages

G. Gesquière

Modèles surfaciques

Les maillages

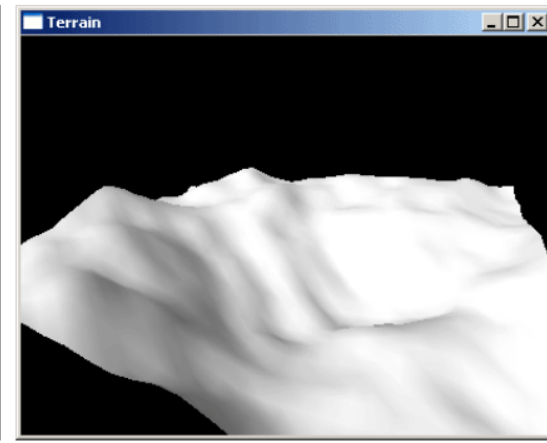
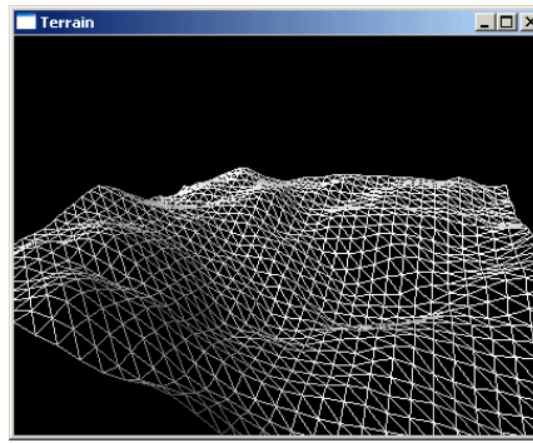
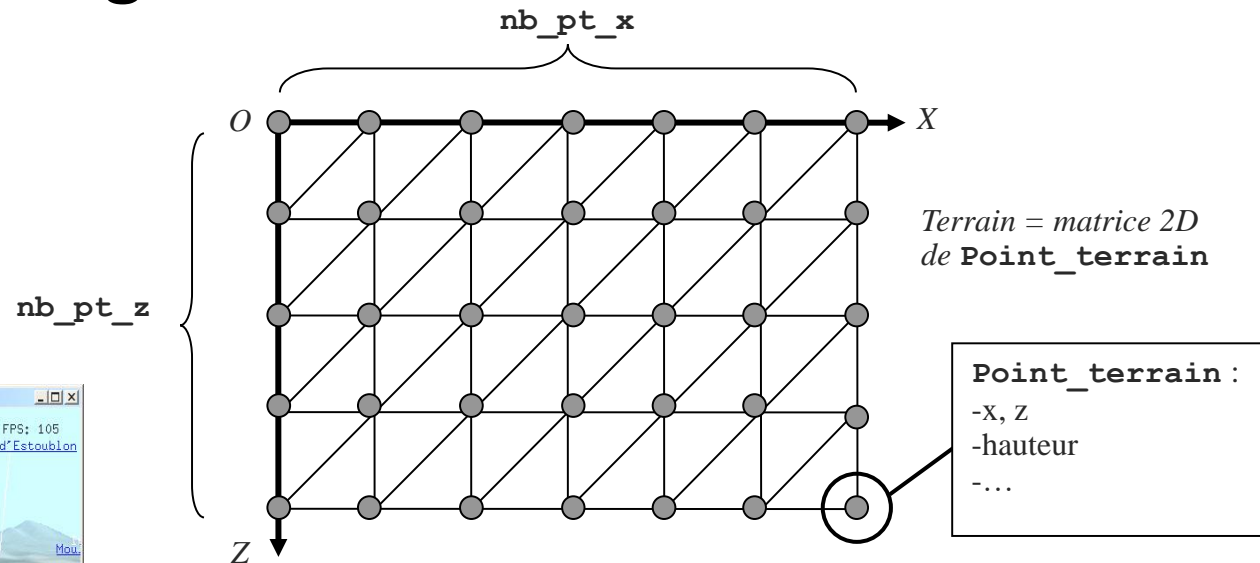
- Un complexe linéaire par morceaux : les surfaces sont représentées avec des polygones. Le simplexe pour une face est le triangle.
- La continuité globale est $C0$ (discontinuité de normales au niveau des arêtes)
- Ils définissent la géométrie tout en donnant une topologie de la surface
- C'est actuellement 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

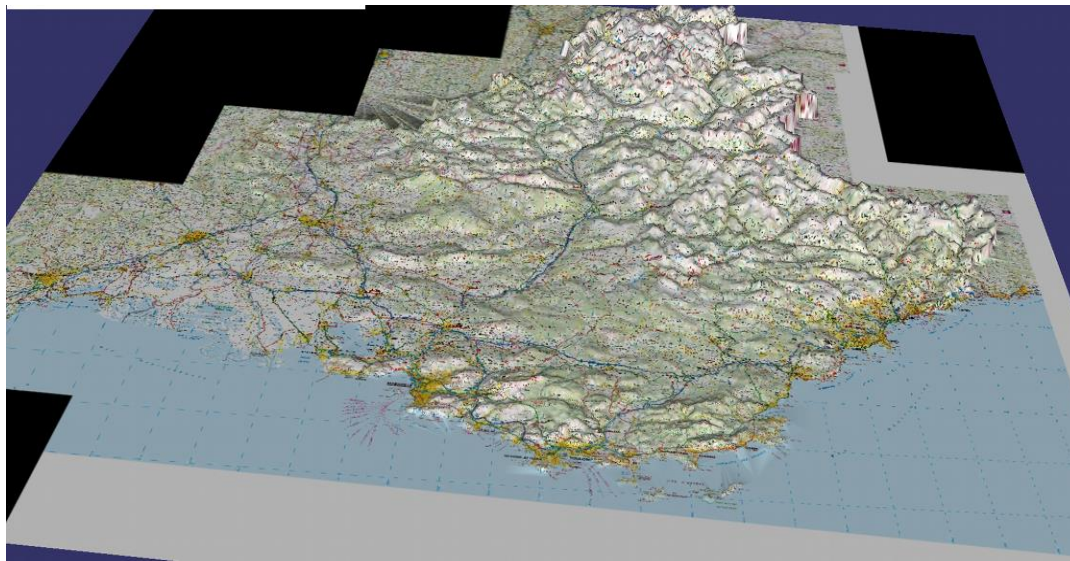
■ Exemple de maillage uniforme



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 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 (ex : 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 ?

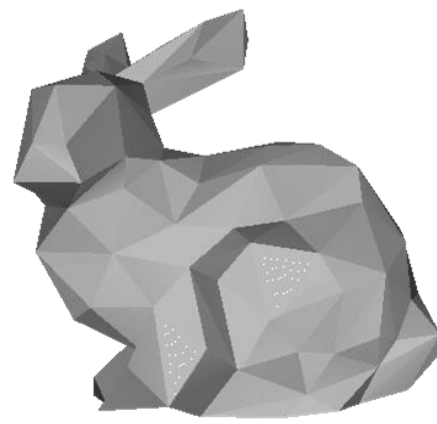
- Représentations à plusieurs niveaux de détail (LOD: Levels Of Details)



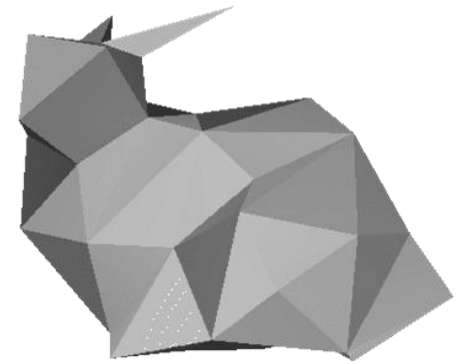
69,451 polys



2,502 polys



251 polys

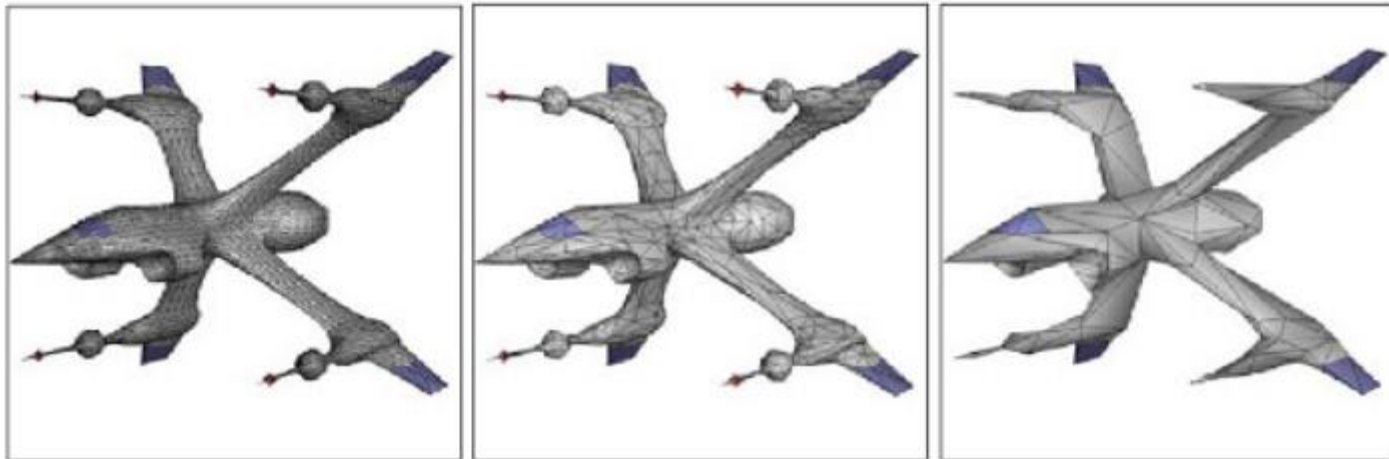


76 polys

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

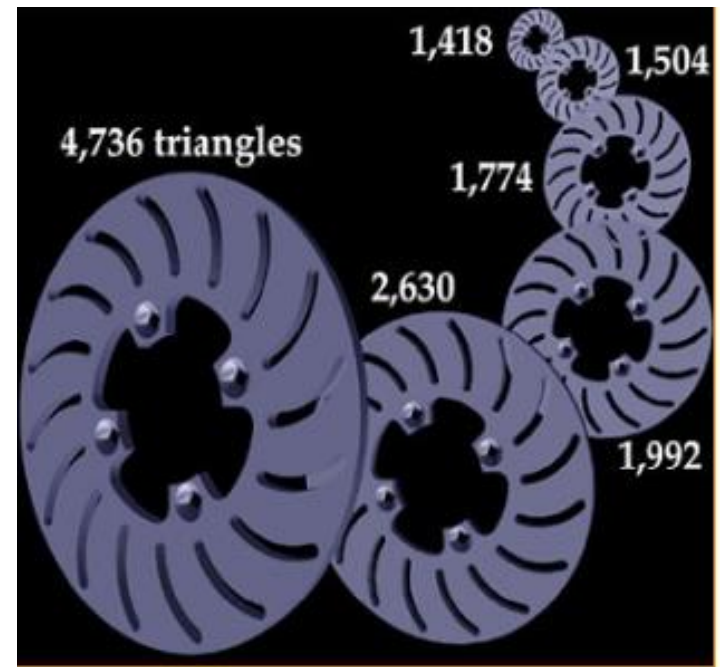


Framework de simplification

- 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

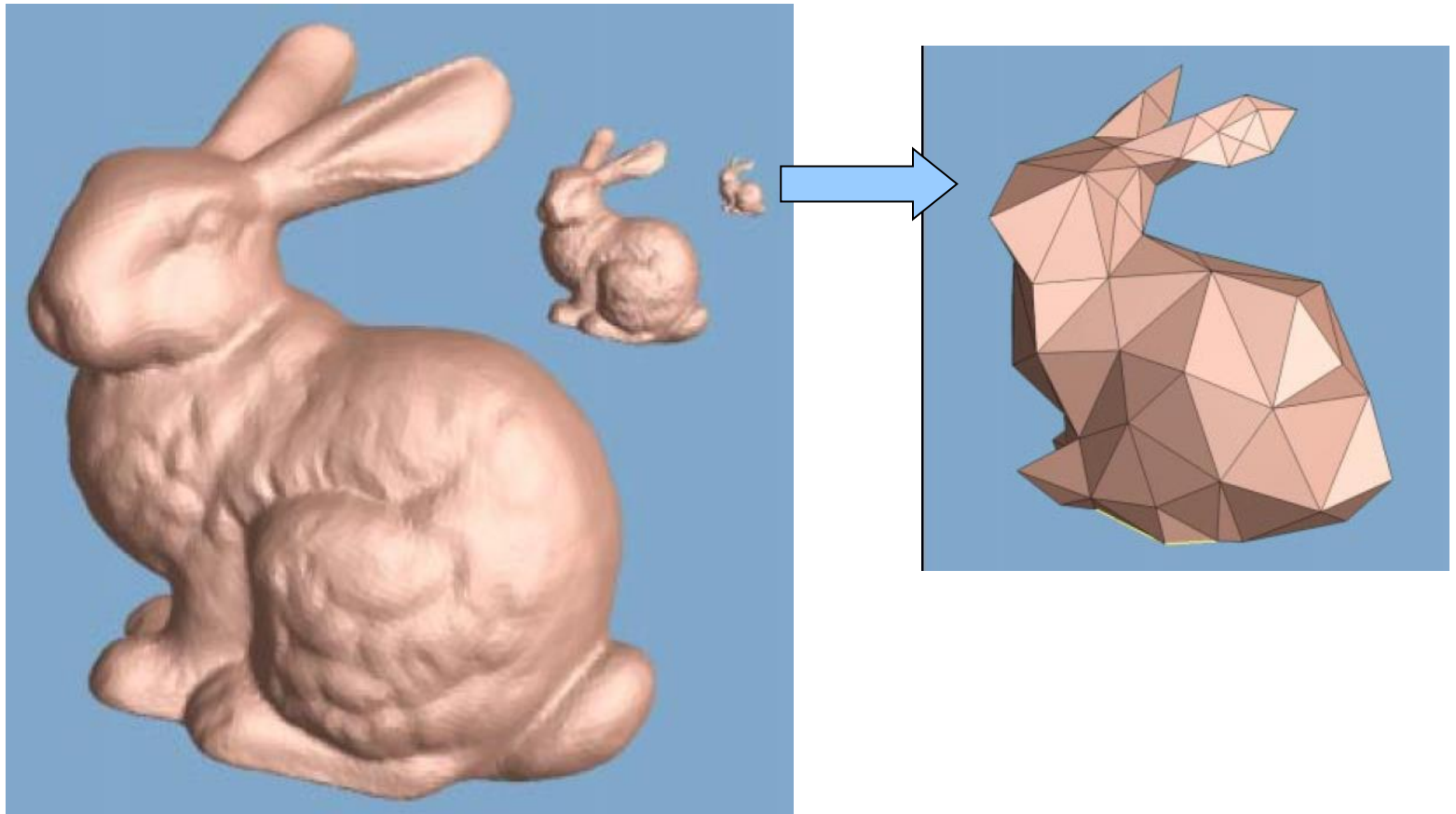


Niveau de détails

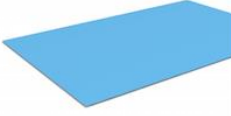

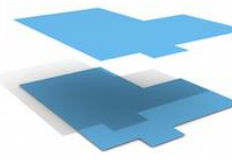

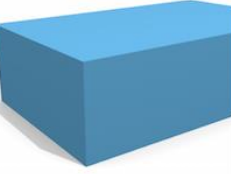
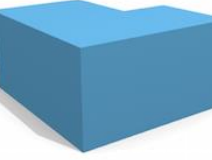
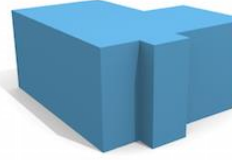









- Agir sur la géométrie des objets
 - Rendu dépendant du point de vue
 - Rendu de scènes comportant un grand nombre d'objets (surtout pour la navigation interactive)
 - Visualisation de terrains
 - Transmission progressive de la géométrie via le réseau
 - etc
- Trois types de LOD
 - Discret
 - Continu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

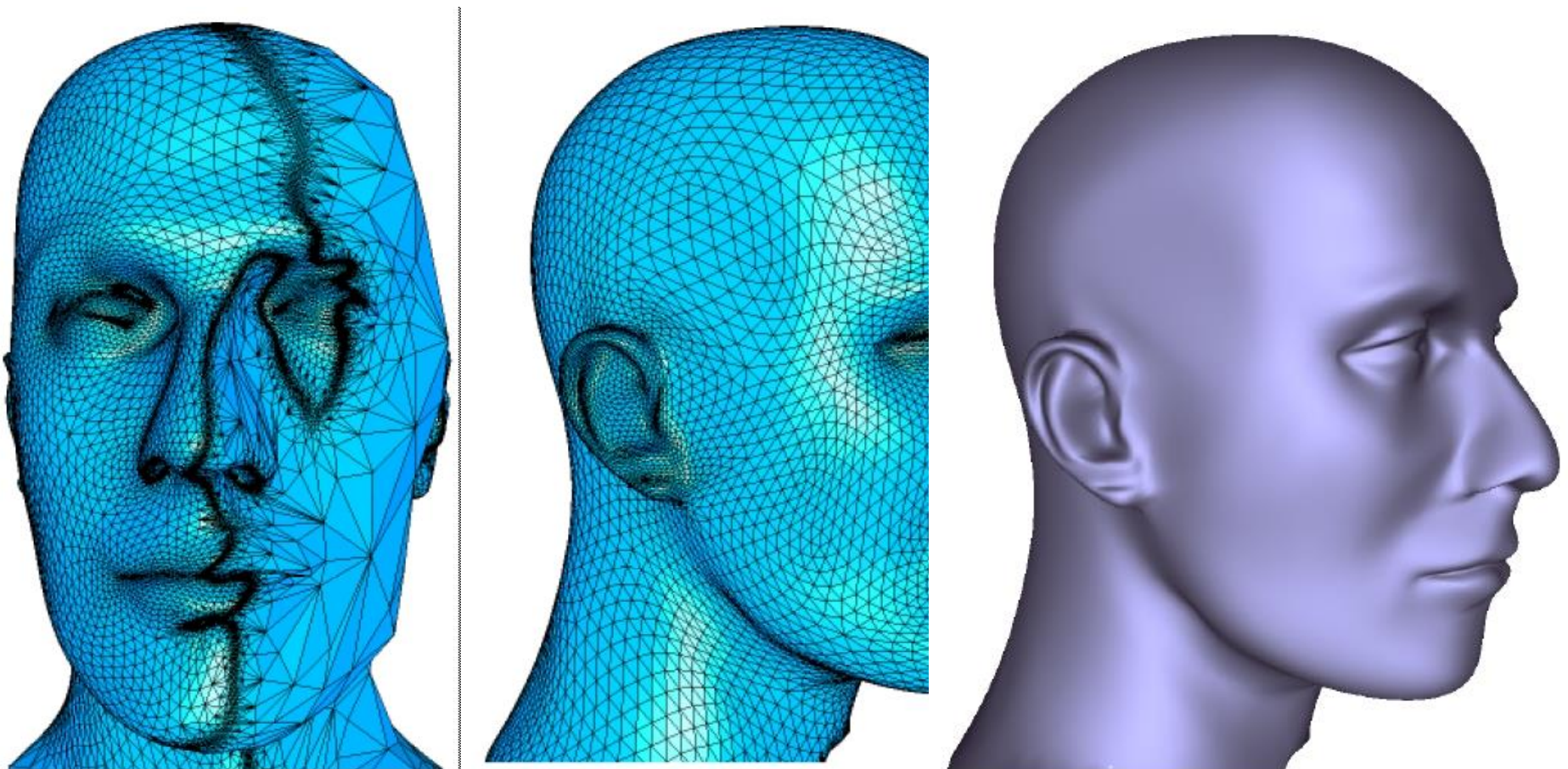
Exemple de
bâtiments

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

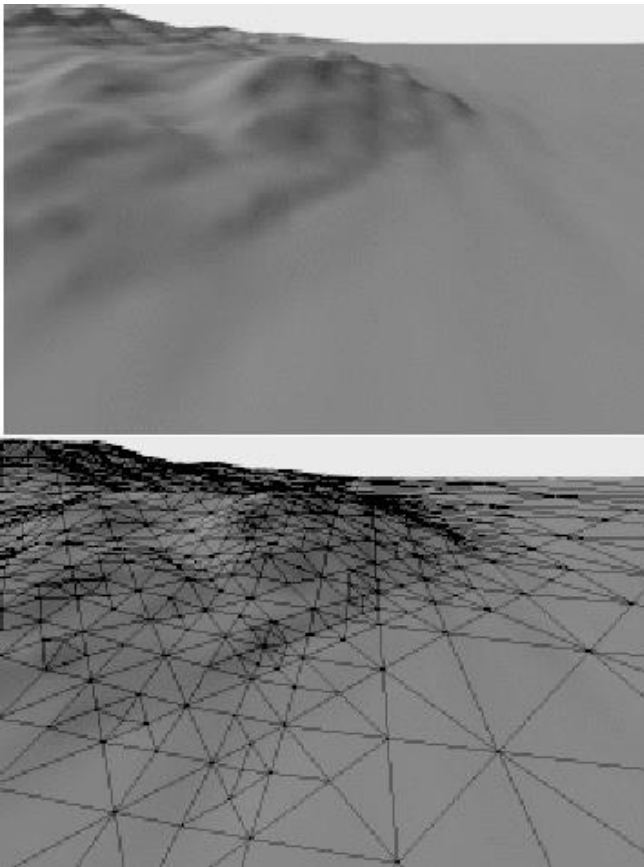
- C'est une extension des LOD continus qui intègre un critère de simplification qui est dépendant du point de vue. Ainsi cette représentation est anisotrope: différentes zones du même objet sont visualisées à des niveaux de détail différents.



LOD dépendant du point de vue

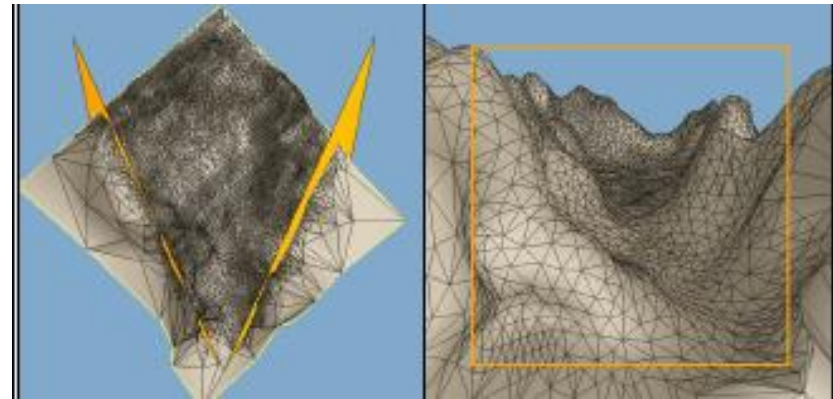
- **LOD : ROAM (Real-time Optimally Adapting Meshes)**

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



- **Progressive meshes.**

- **Pré- calcul de la simplification**

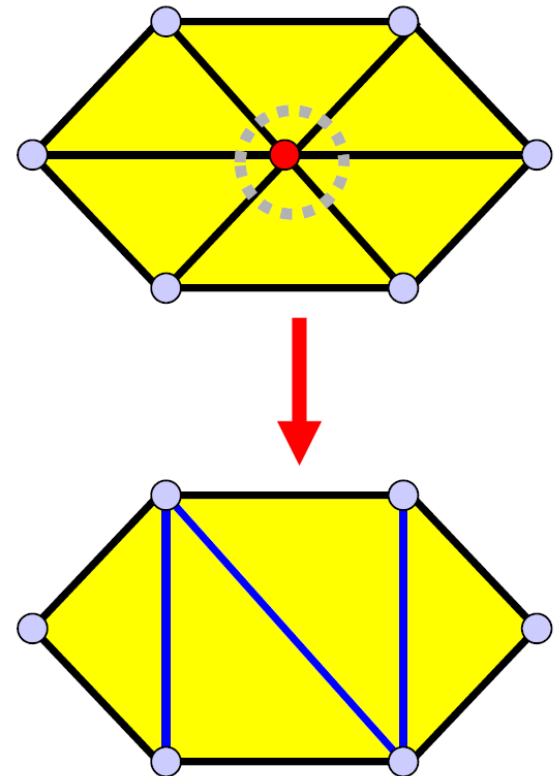


Opérations topologiques permettant la simplification du maillage

- 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)

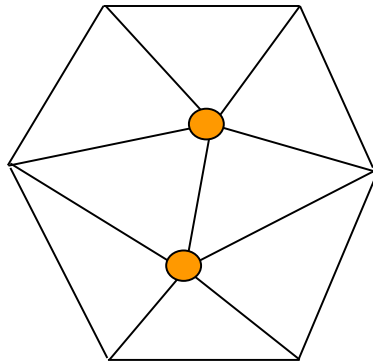
Simplification- Vertex Removal

- « Vertex removal » détruit un sommet et les faces/ arêtes liés
- La suppression crée un “ k -side hole”, où k est la valence du sommet traité.
- Ce trou est triangulé en ajoutant $k-2$ triangles.
- Le nombre de sommets et de triangle est donc respectivement réduit de 1 et 2.



Simplification- Méthodes locales- Edge collapse

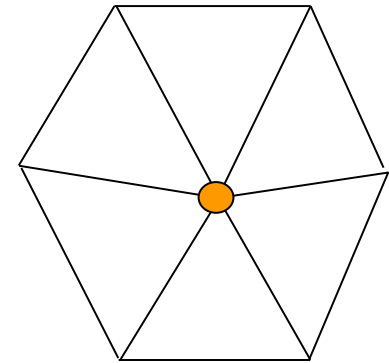
- Cet opérateur transforme une arête en un sommet. L'opérateur inverse appelé "vertex split" ajoute une arête et les triangles adjacents.



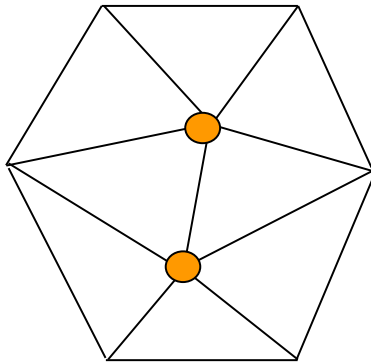
Edge collapse



Vertex split



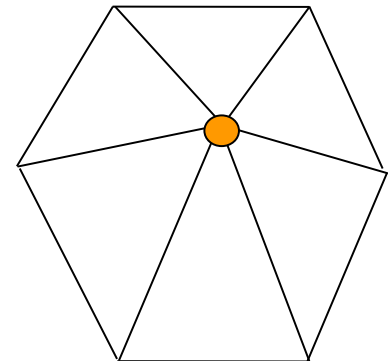
- Variante : "half edge collapse" où le nouveau sommet est une des extrémités de l'arête supprimée.



Half edge collapse



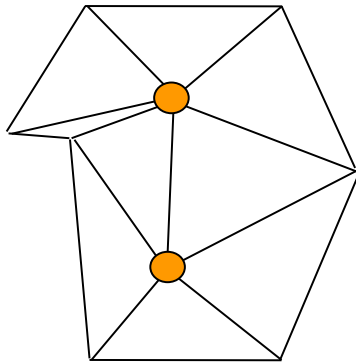
Vertex split



Simplification : Méthodes locales

Quand ne pas utiliser “Edge collapse”

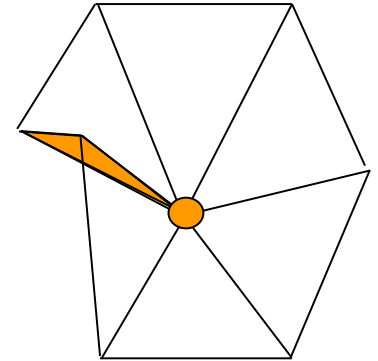
- Attention au problème de recouvrement:



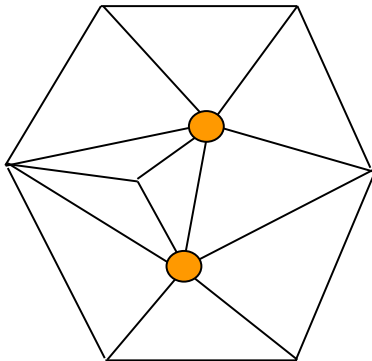
Edge collapse



Vertex split



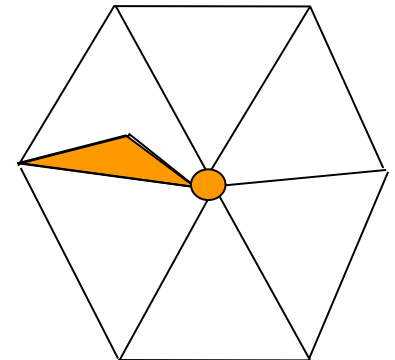
- Le maillage peut aussi devenir non conforme (forme des faces)



Edge collapse



Vertex split

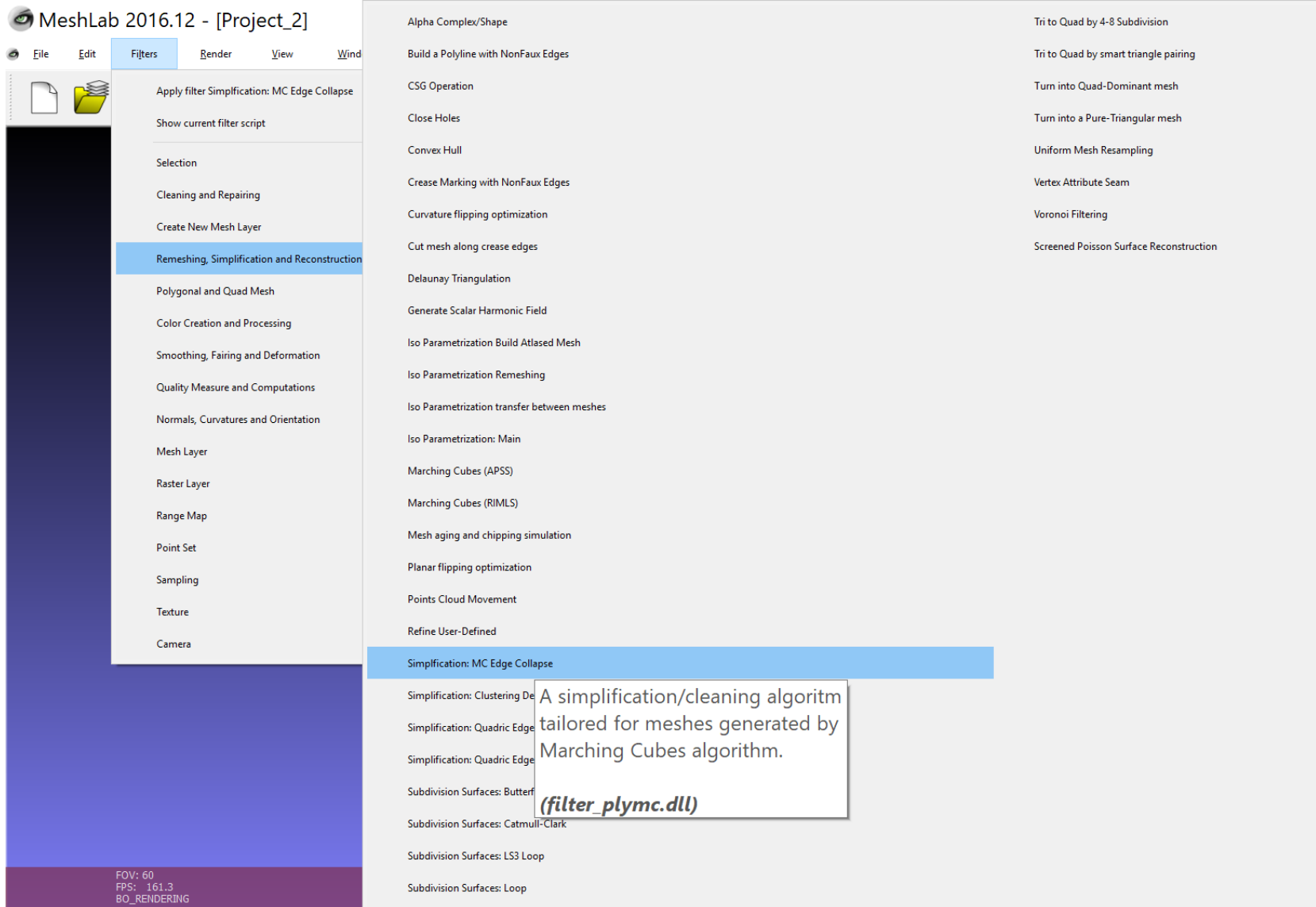


Simplification : Méthodes locales

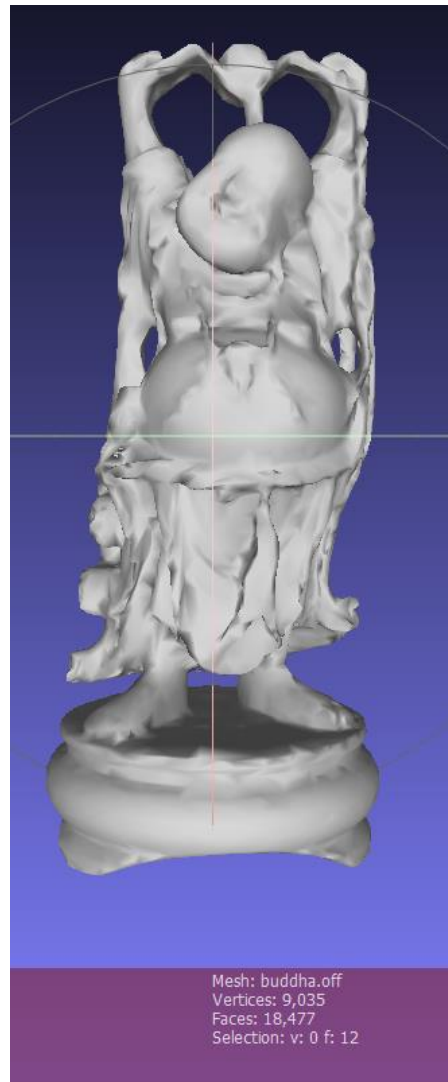
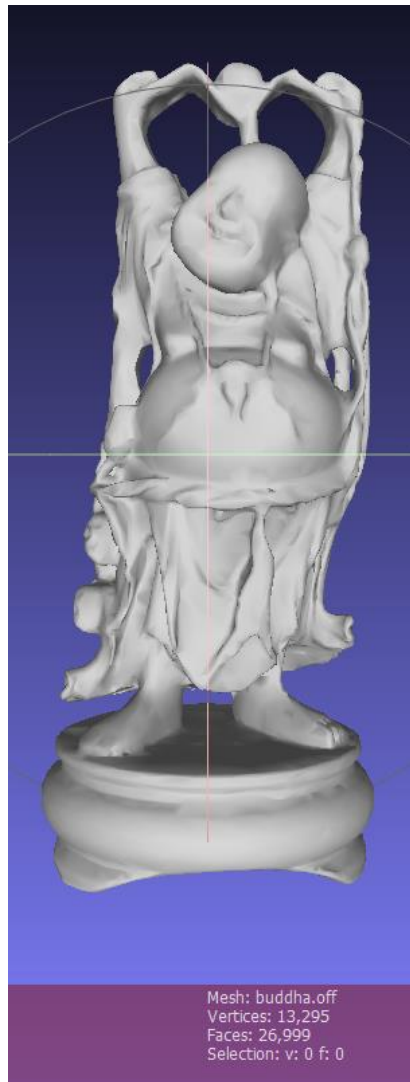
Polygon merging

- 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 composé de polygones quelconques (pas seulement des triangles).
 - Plusieurs sommets peuvent être éliminés en une seule fois.
 - Peut boucher les trous.
- « Incremental Decimation »: Il peut fournir des maillages de meilleure qualité dans la plupart des cas et peut prendre en compte des critères arbitraires définis par l'utilisateur en fonction de la façon dont la prochaine opération de retrait est choisie.

Simplification MC Edge Collapse

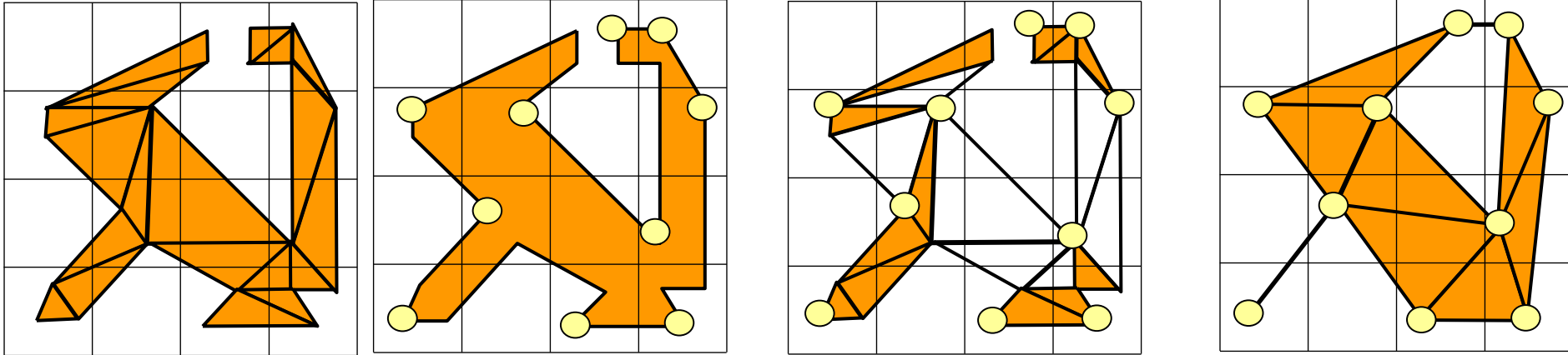


Simplification MC Edge Collapse



Simplification : Cell Collapse

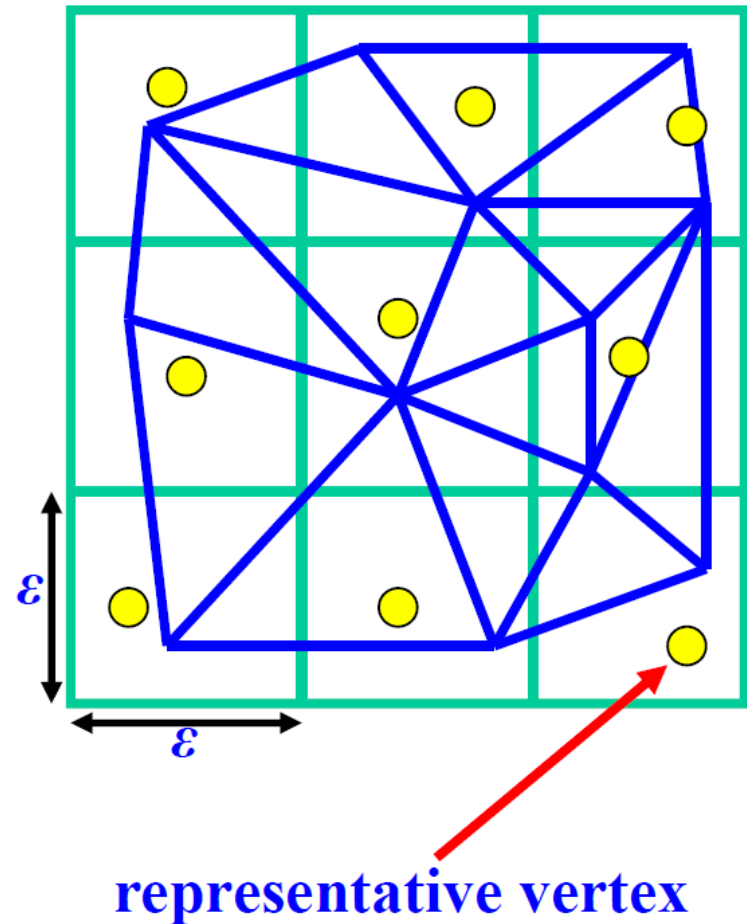
- Tous les sommets qui sont dans un certain volume (cellule) sont unifiés en un sommet unique.



- 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 satisfaisante.

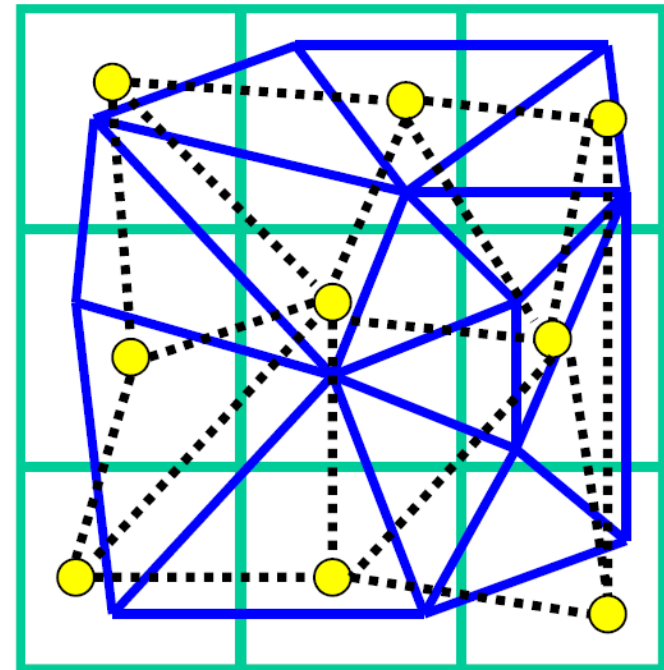
Vertex clustering 1/4

- 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



Vertex clustering 2/4

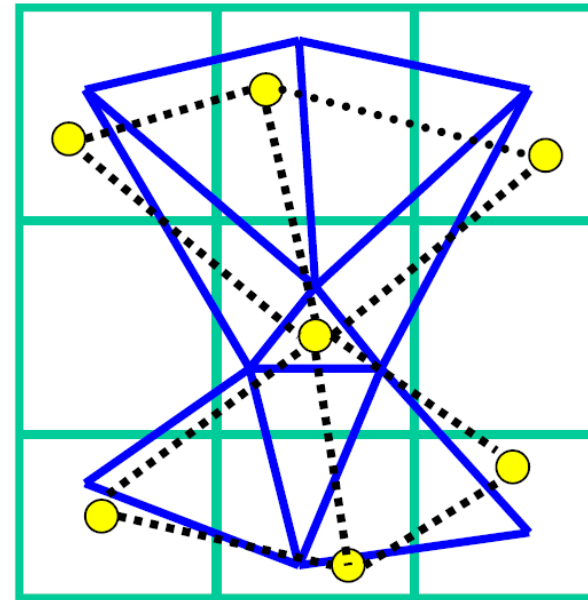
- Puis les triangles dégénérés sont enlevés.
- Si P et Q sont des sommets représentatifs de p_0, p_1, \dots, p_m et q_0, q_1, \dots, q_n , respectivement, P et Q sont connectés dans le maillage décimés si au moins une paire de sommets (p_i, q_j) étaient connectés dans le maillage original.



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

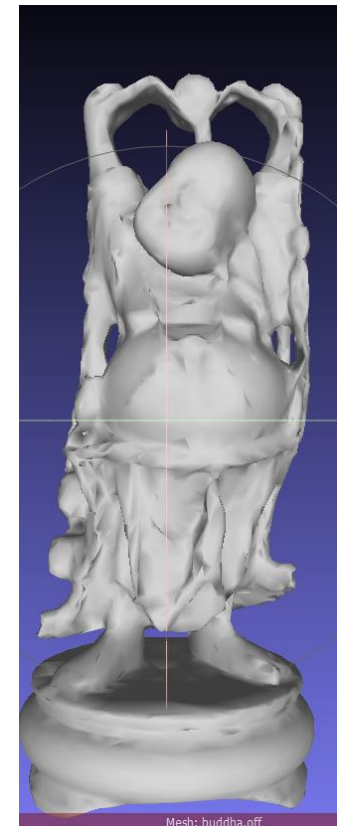
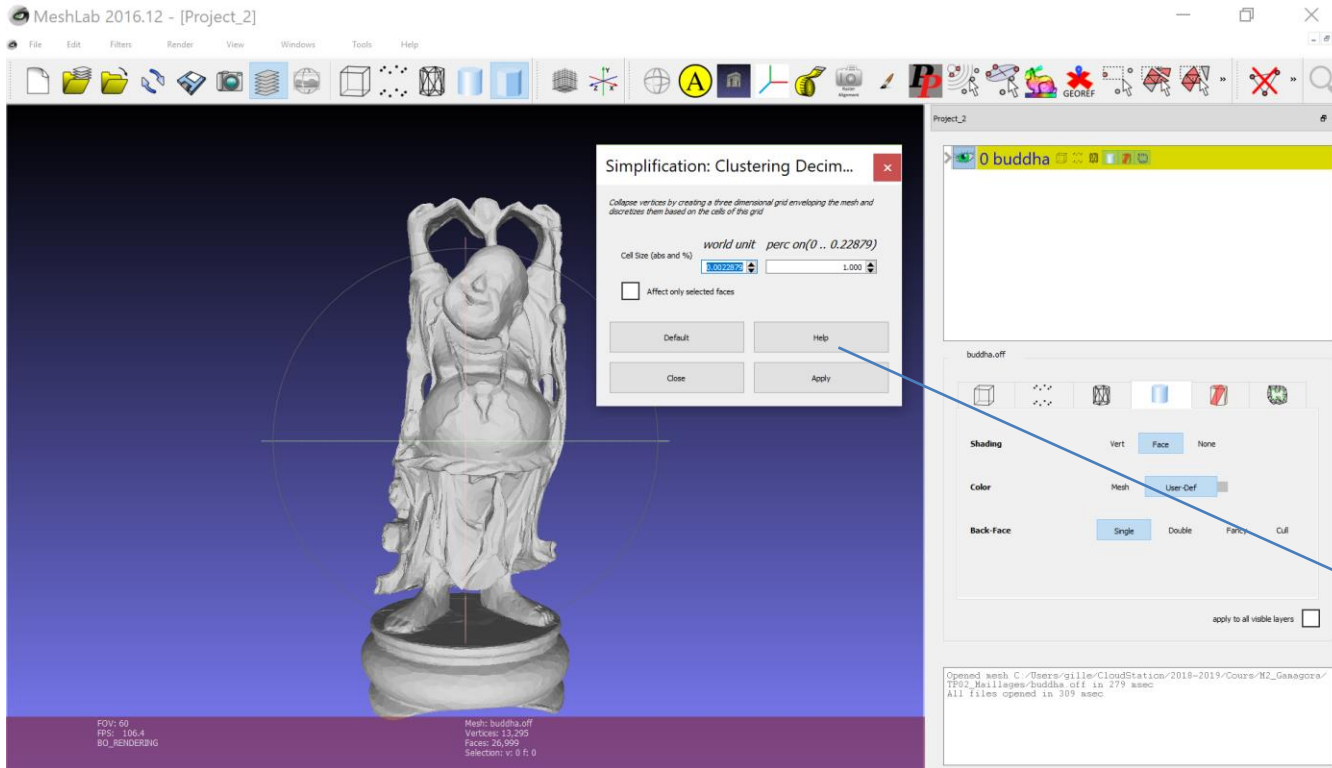
Vertex clustering 4/4

- 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 :

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

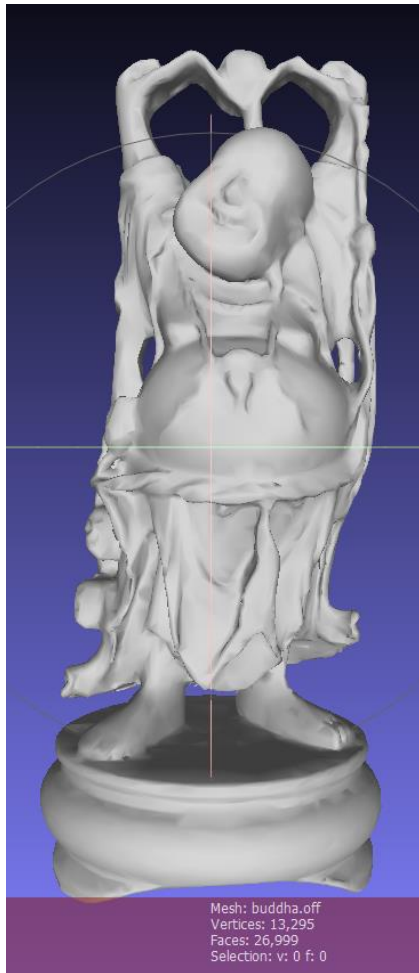
Vertex clustering

- 0.0022879

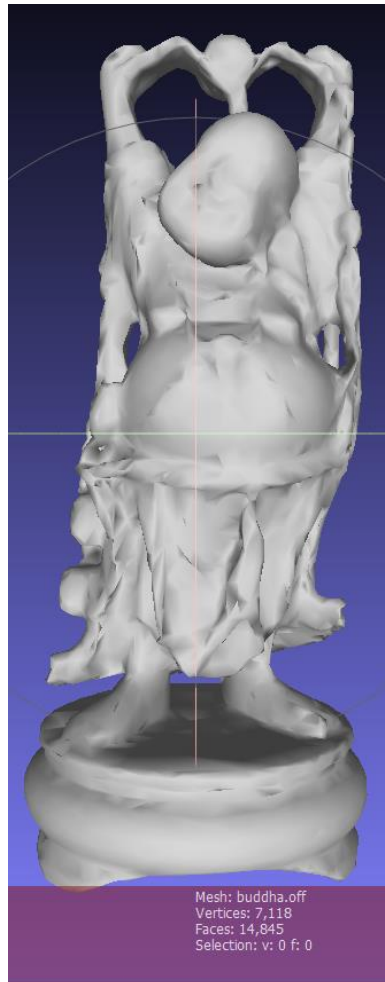


Vertex clustering

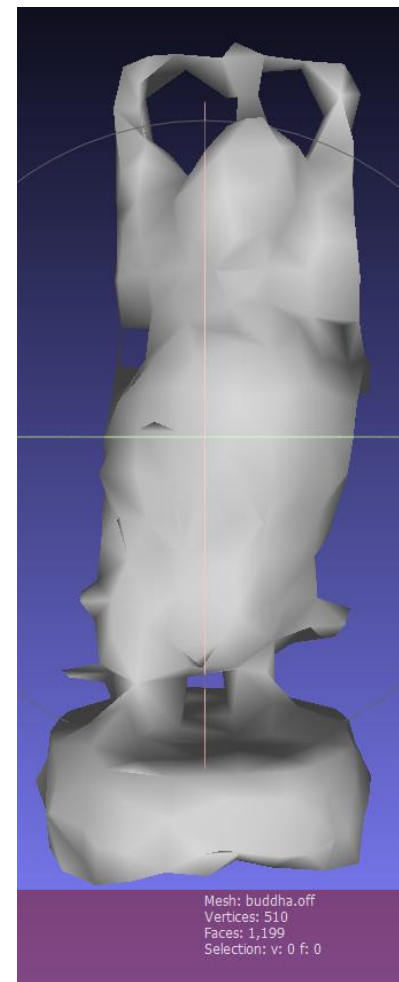
0.0022879



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
 - Erreur liée aux attributs
- Possible d'avoir une erreur incrémentale ou une erreur totale

Métrique d'erreur- Erreur géométrique

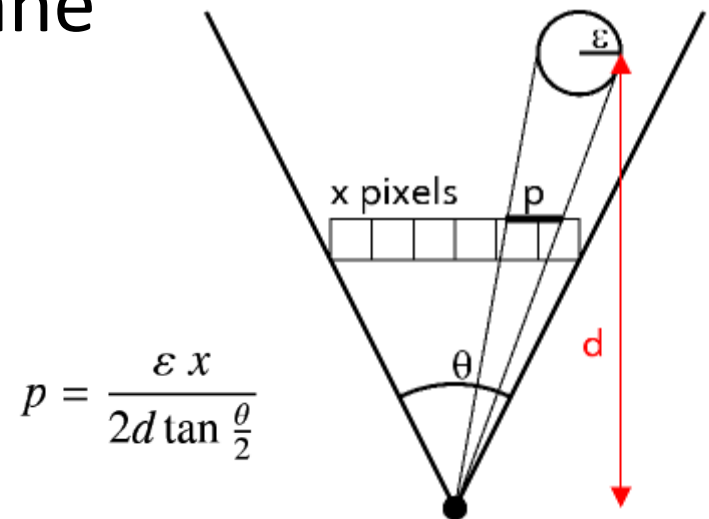
- Comment mesurer la distance entre deux surfaces

- Distance de Hausdorff
- Approximations

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

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

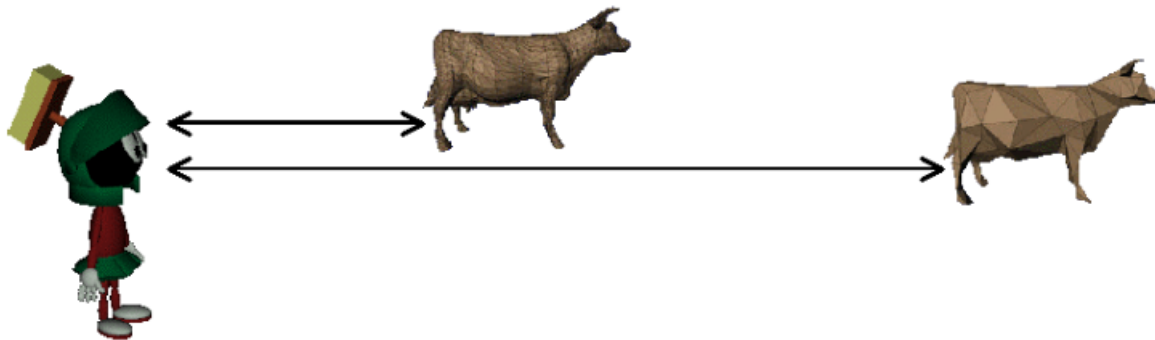
$$H(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A))$$



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

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.



LOD -0



LOD -3



LOD -5



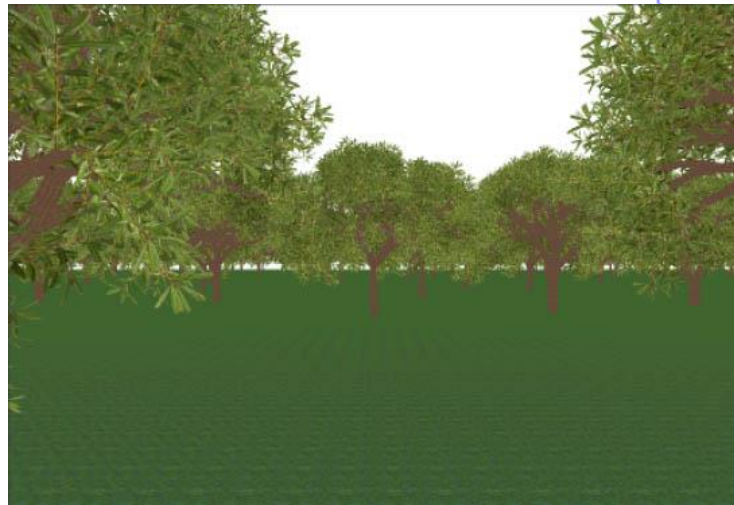
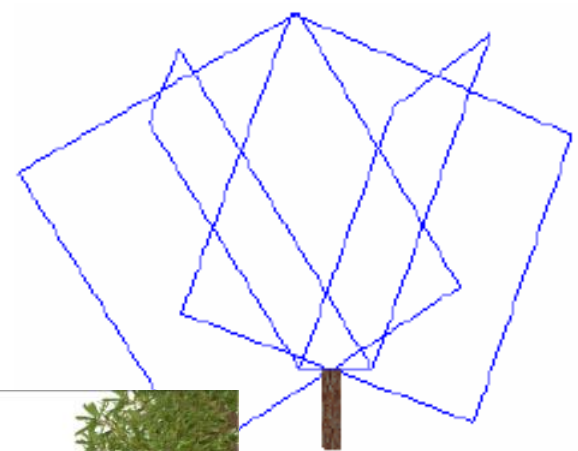
LOD -7



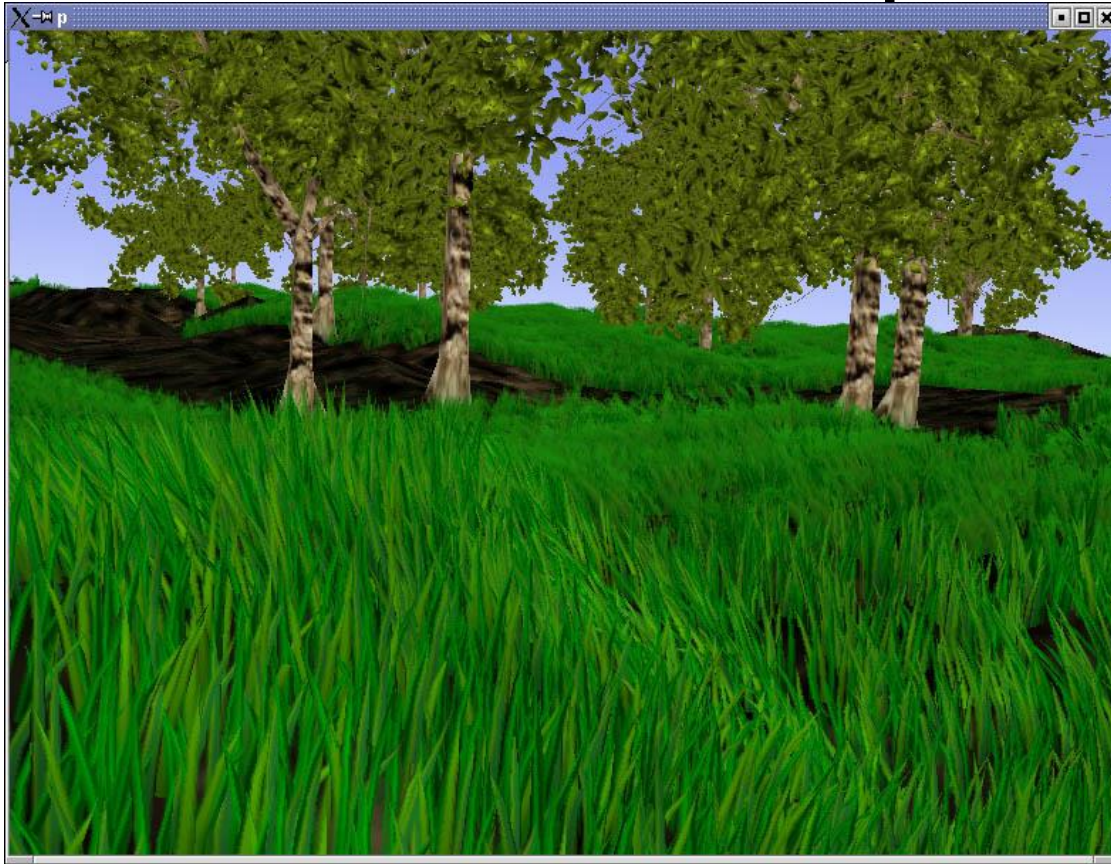
LOD -9



LOD -12



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.