

Modélisation et Programmation 3D

# Simplification / Subdivision de maillage



Cours du 30/03/2013

roseline.beniere@c4w.com

# Plan

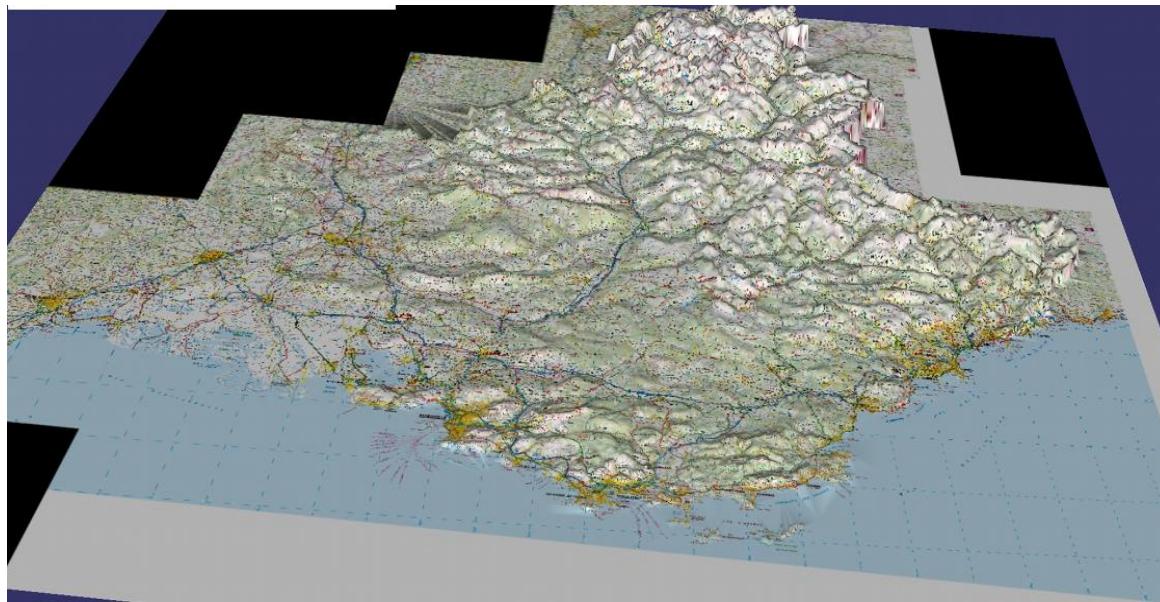
- **Introduction**
- **Simplification**
  - Types de LOD (Level Of Details : Niveau de détail)
  - Méthodes de simplification
  - LOD sélection
- **Subdivision**
  - Subdivision d'une courbe
  - Subdivision d'une surface
  - Subdivision adaptative

# Plan

- **Introduction**
- **Simplification**
  - Types de LOD (Level Of Details : Niveau de détail)
  - Méthodes de simplification
  - LOD sélection
- **Subdivision**
  - Subdivision d'une courbe
  - Subdivision d'une surface
  - Subdivision adaptative

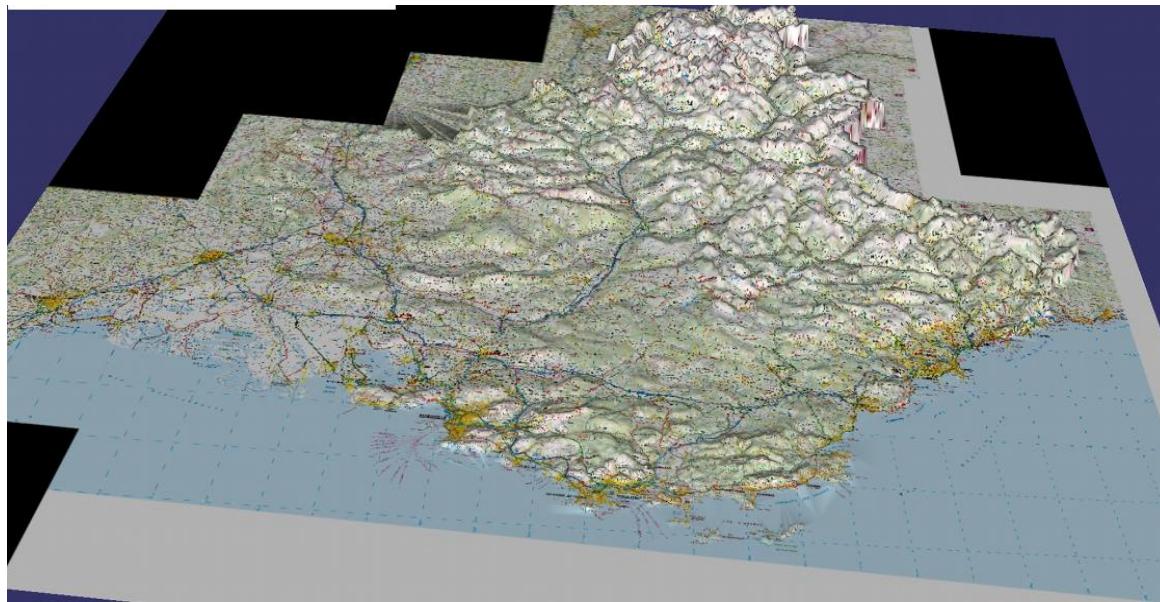
# Introduction

- Exemple maillage de topologie de terrain :
  - énormément de triangle : plusieurs millions,
  - impossible d'afficher en temps réel une zone de plusieurs Km<sup>2</sup>.



# Introduction

- Exemple maillage de topologie de terrain :
    - énormément de triangle : plusieurs millions,
    - impossible d'afficher en temps réel une zone de plusieurs Km<sup>2</sup>.
- Est-ce que tous les triangles sont utiles ?**



# Introduction

- Niveau de détail : en anglais *Level Of Details* → LOD.
- L'idée est de définir plusieurs affichages du même objet à différentes résolutions :
  - comment les construire,
  - combien en construire,
  - comment choisir le bon?



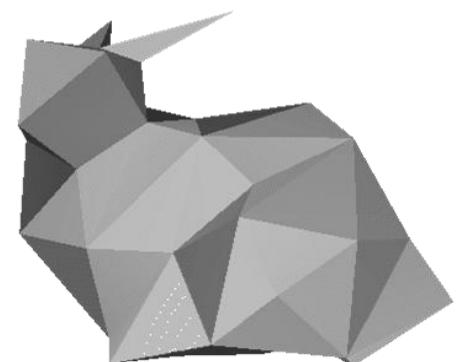
69 451 triangles



2 502 triangles



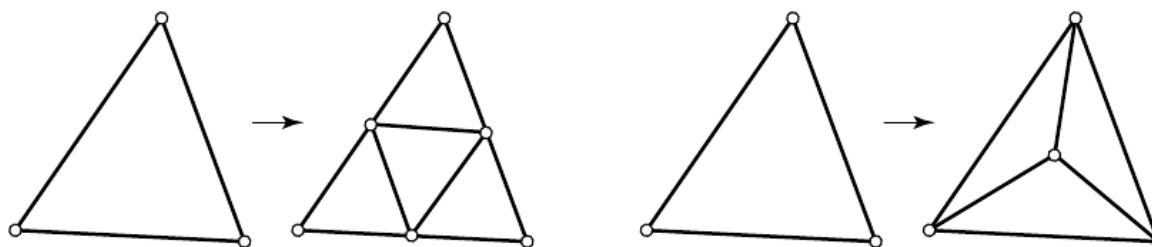
251 triangles



76 triangles

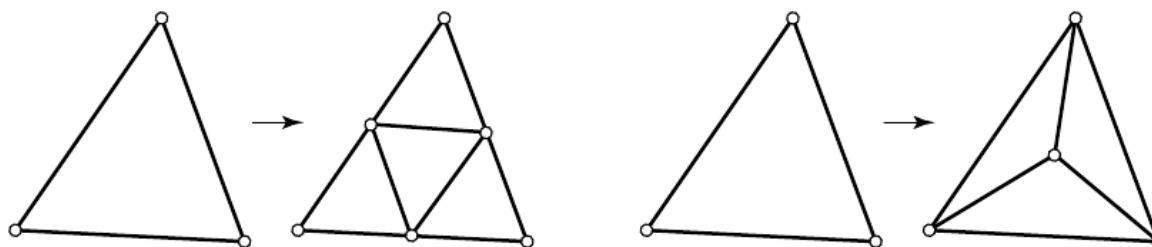
# Introduction

- Subdivision → le but est de rajouter des triangles au maillage pour augmenter la résolution:
  - raffinement : on rajoute simplement des sommets au maillage,

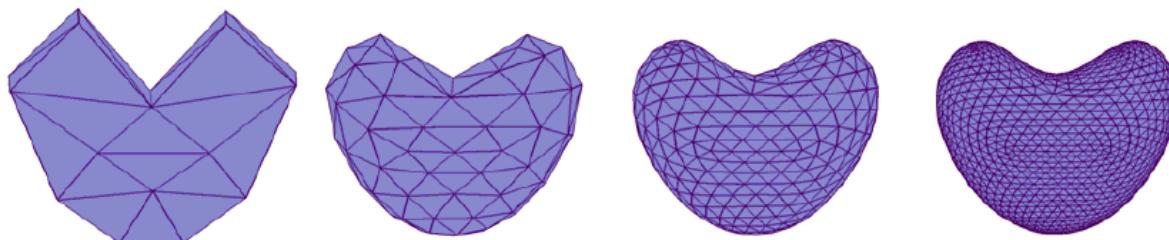


# Introduction

- Subdivision → le but est de rajouter des triangles au maillage pour augmenter la résolution:
  - raffinement : on rajoute simplement des sommets au maillage,

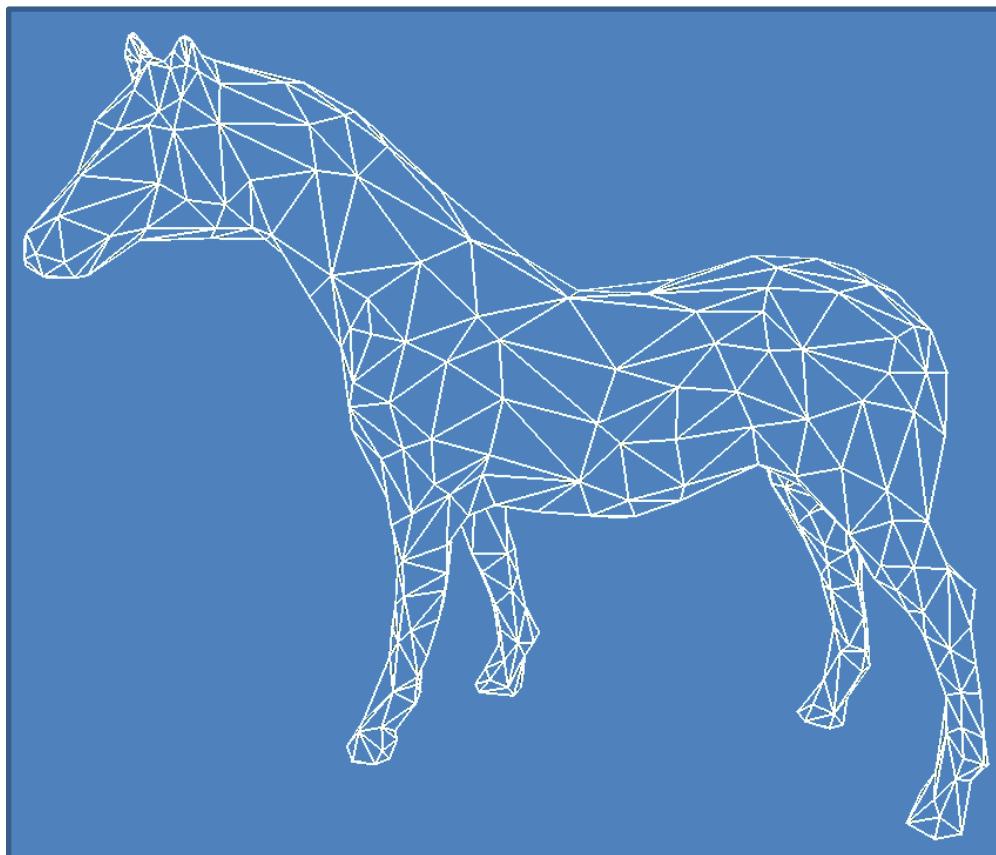


- subdivision : on applique un schéma de subdivision.



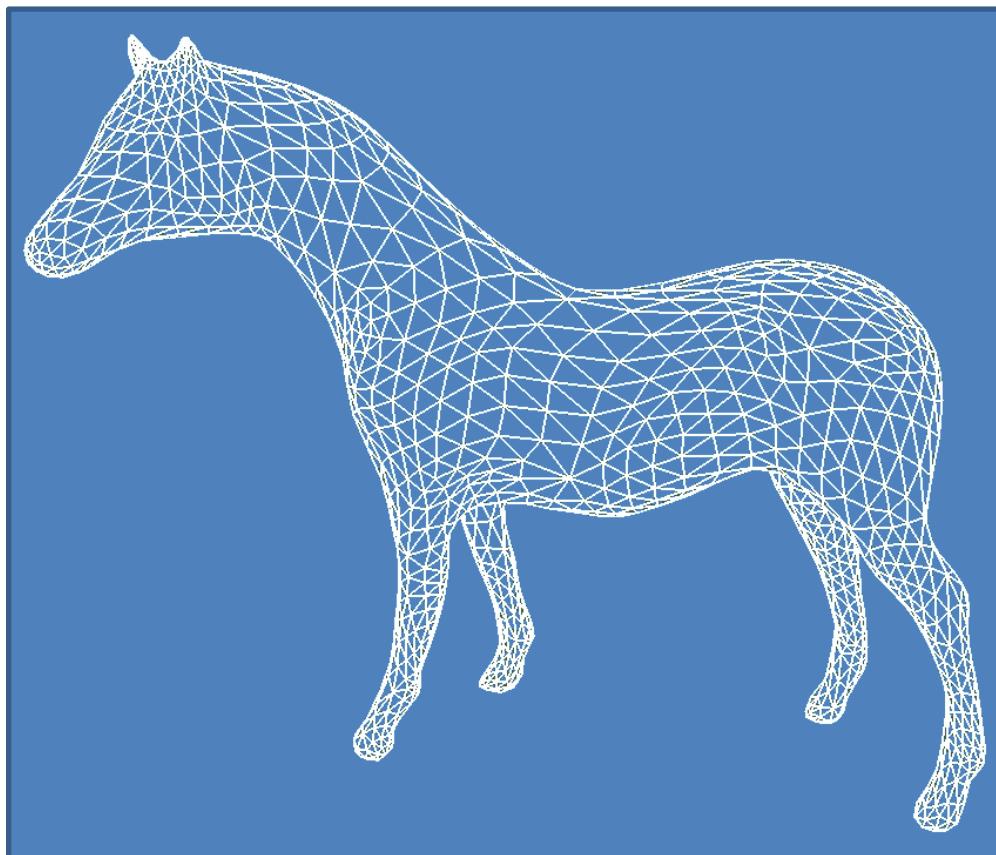
# Introduction

- Permet d'obtenir un maillage plus ``lisse'':
  - Maillage initial :



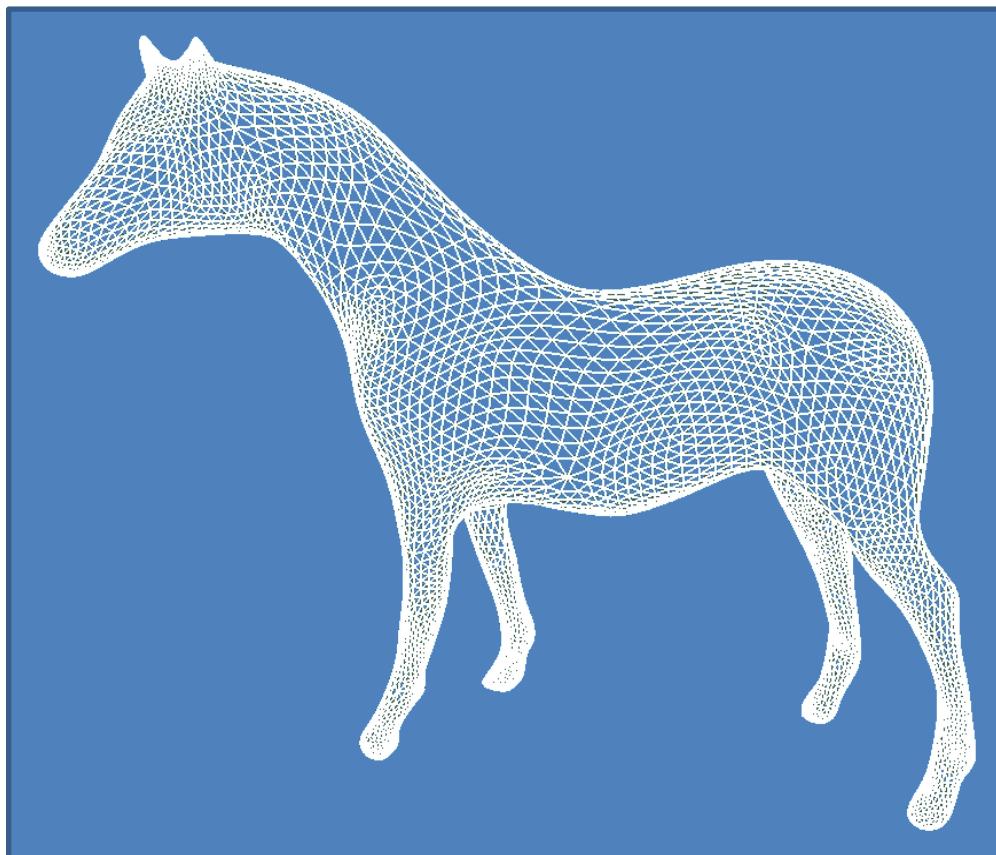
# Introduction

- Permet d'obtenir un maillage plus ``lisse'':
  - Maillage après un pas de subdivision :



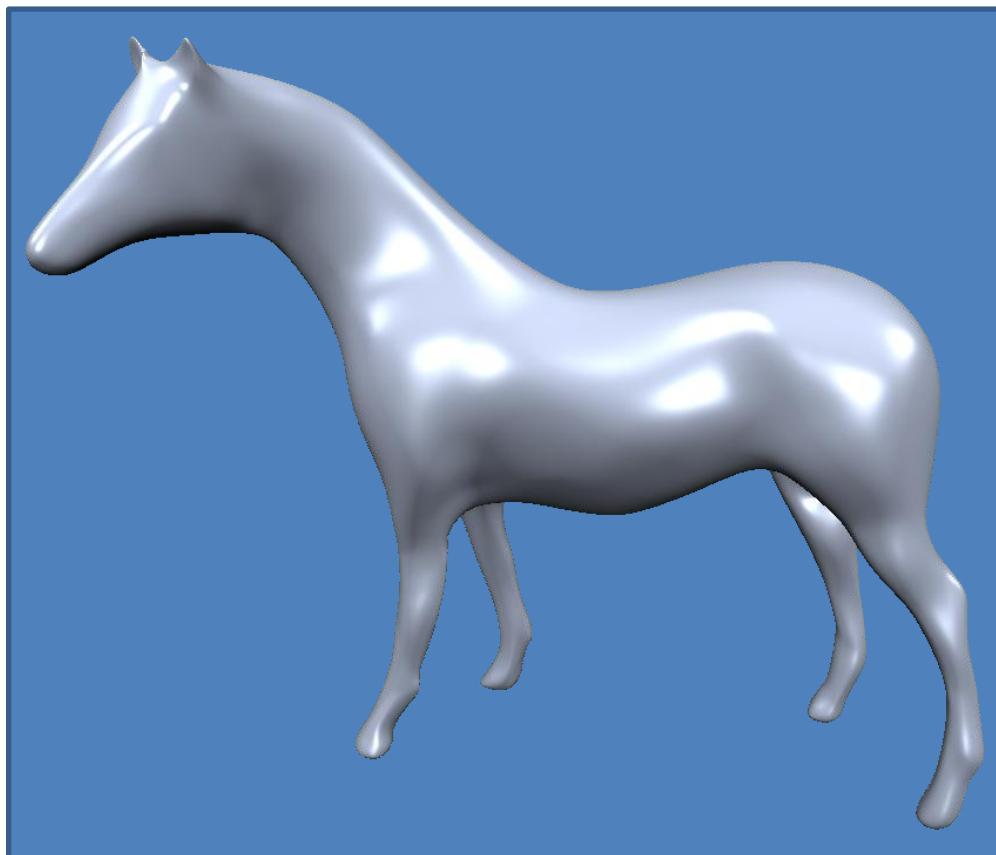
# Introduction

- Permet d'obtenir un maillage plus ``lisse'':
  - Maillage après deux pas de subdivision :



# Introduction

- Permet d'obtenir un maillage plus ``lisse'':  
➤ **Surface limite :**



# Plan

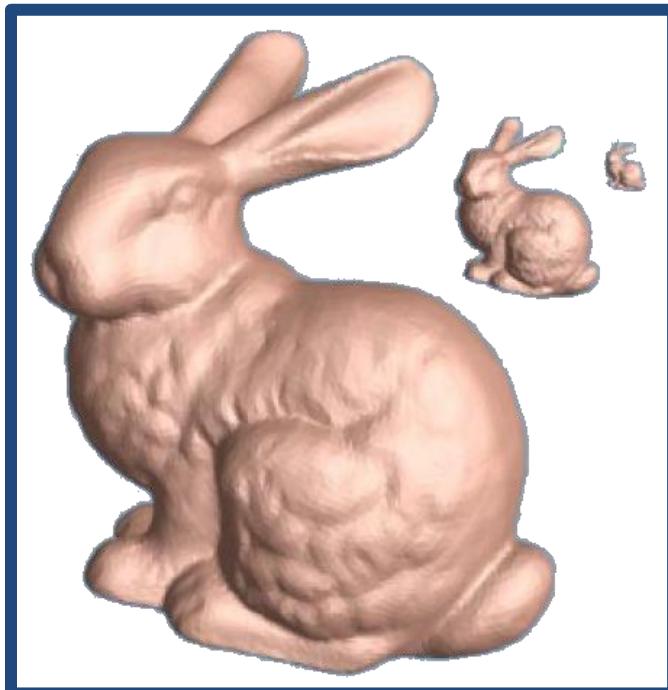
- Introduction
- Simplification
  - Types de LOD (Level Of Details : Niveau de détail)
  - Méthodes de simplification
  - LOD sélection
- Subdivision
  - Subdivision d'une courbe
  - Subdivision d'une surface
  - Subdivision adaptative

# Types de LOD

- Quatre types de LOD parmi les principaux :
  - discret,
  - continu,
  - en fonction de point de vue,
  - imposteur.

# Types de LOD : discret

- LOD discret, pour les maillages 3D:
  - plusieurs maillages sont construits à différentes résolutions au départ,
  - en fonction de la position de l'objet dans la scène une représentation est choisie et affichée.

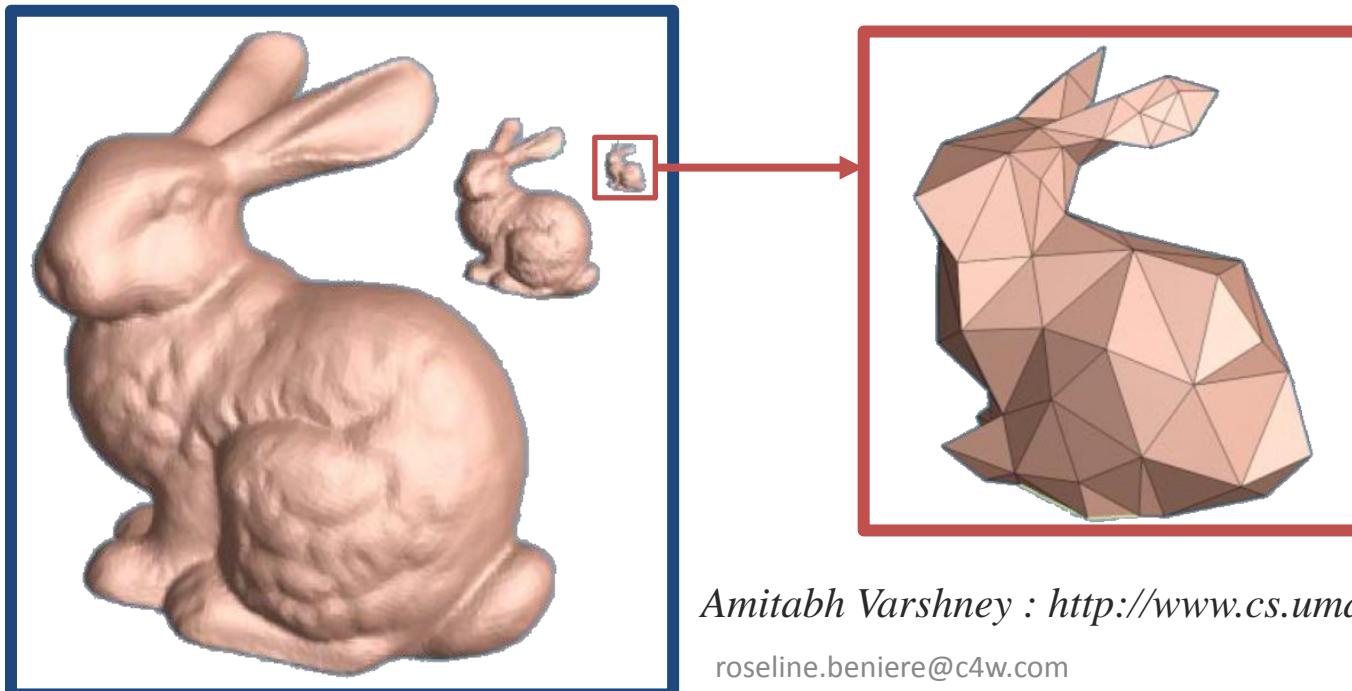


Amitabh Varshney : <http://www.cs.umd.edu/gvil>

roseline.beniere@c4w.com

# Types de LOD : discret

- LOD discret, pour les maillages 3D:
  - plusieurs maillages sont construits à différentes résolutions au départ,
  - en fonction de la position de l'objet dans la scène une représentation est choisie et affichée.



Amitabh Varshney : <http://www.cs.umd.edu/gvil>

roseline.beniere@c4w.com

10

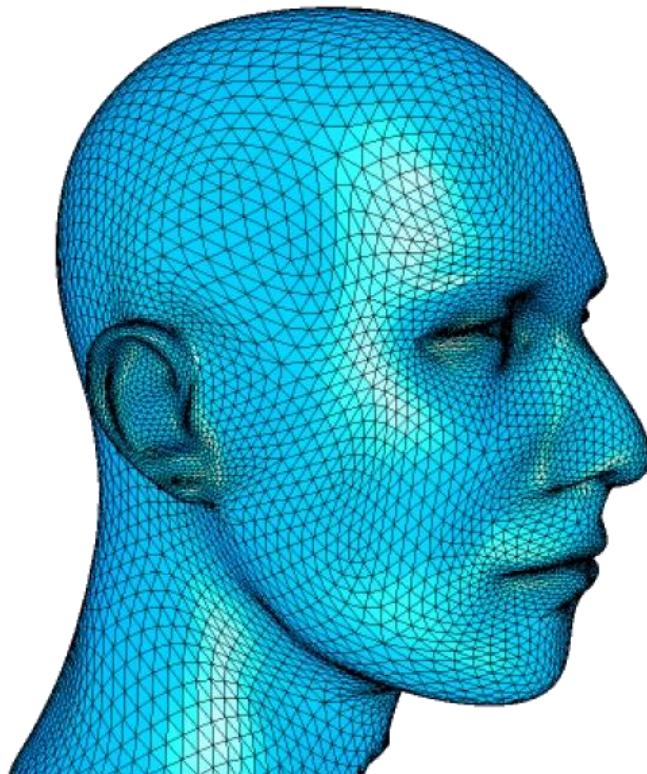
# Types de LOD : continu

- **LOD continu, pour les objets 3D continus:**
  - l'objet est défini par des équations,
  - en fonction de la position de l'objet dans la scène les paramètres de discrétisation s'adapte,
  - un nouveau maillage est calculé à chaque modification de la scène.

# Types de LOD : en fonction du point de vue

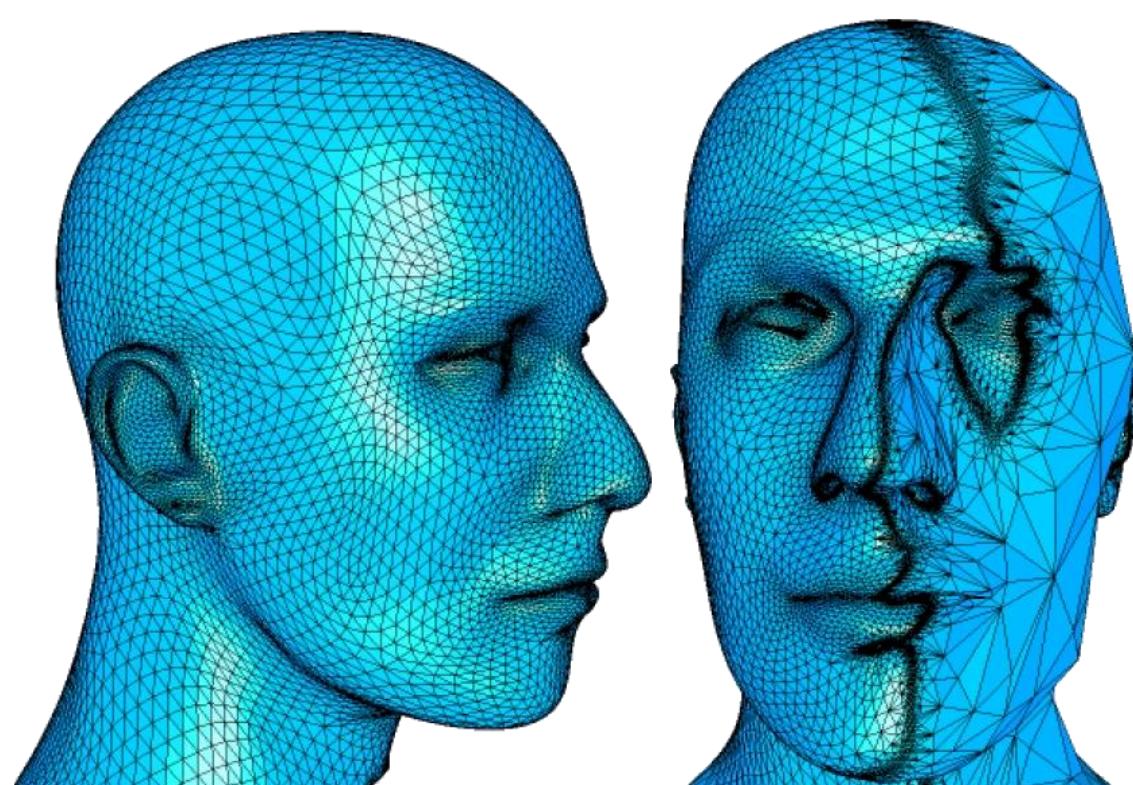
- LOD en fonction du point de vue de l'objet, pour les maillages 3D :
  - le maillage est simplifié de manière anisotrope,
  - les zones visibles sont identifiées et peu simplifiées,
  - les zones non visibles sont simplifiées de manière très importante.

# Types de LOD : en fonction du point de vue



partie visible  
de l'objet

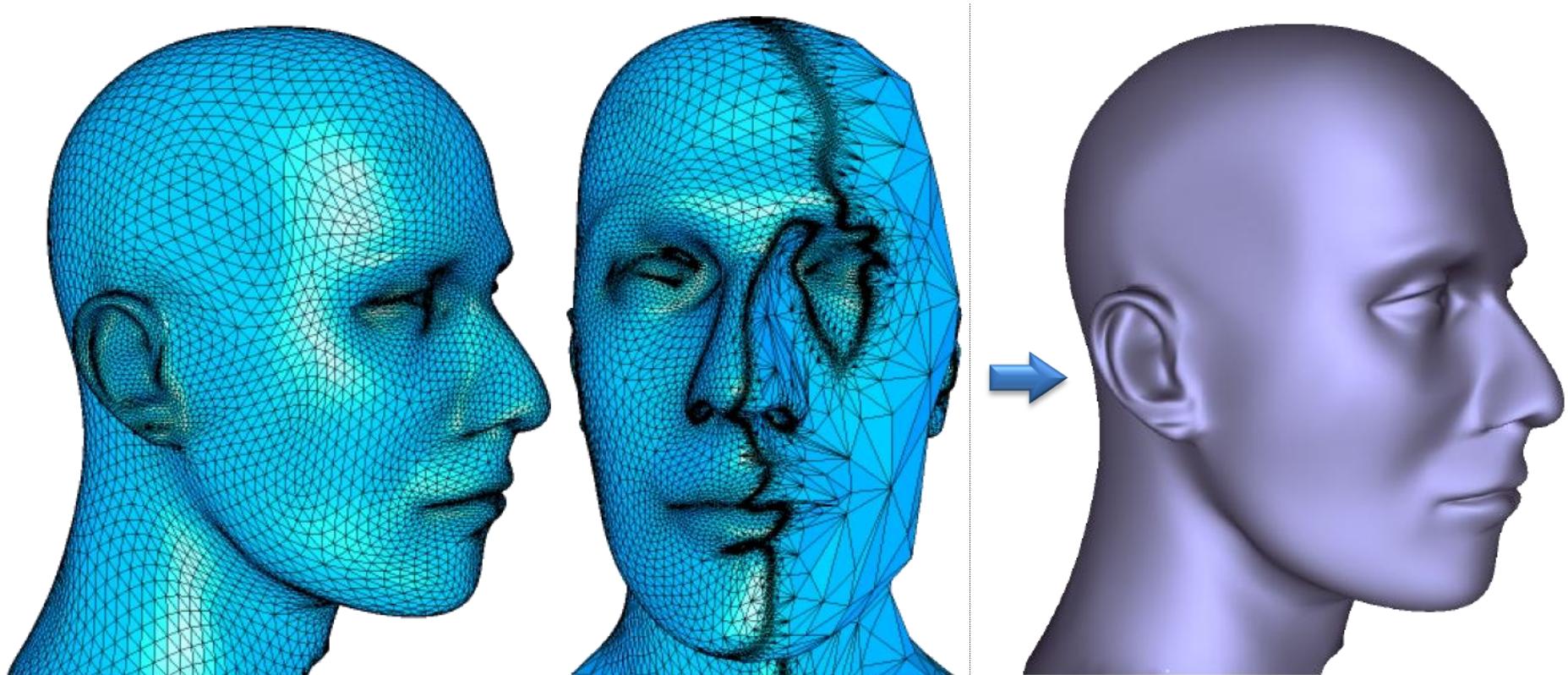
# Types de LOD : en fonction du point de vue



partie visible  
de l'objet

sous un autre  
point de vue

# Types de LOD : en fonction du point de vue



partie visible  
de l'objet

sous un autre  
point de vue

rendu final

# Types de LOD : imposteur

- LOD imposteur, pour les maillages ou les objets continus 3D:
  - la structure des objets est modifiée,
  - exemple : l'objet 3D est remplacé par une boîte englobante texturée calculée à partir de l'objet de départ détaillé,
  - dépendant du point vue et de l'éclairage.

# Types de LOD : imposteur

- Technique : arbres représentés avec plus ou moins de facettes et de quadrillatères texturés.



LOD -0



LOD -3



LOD -5



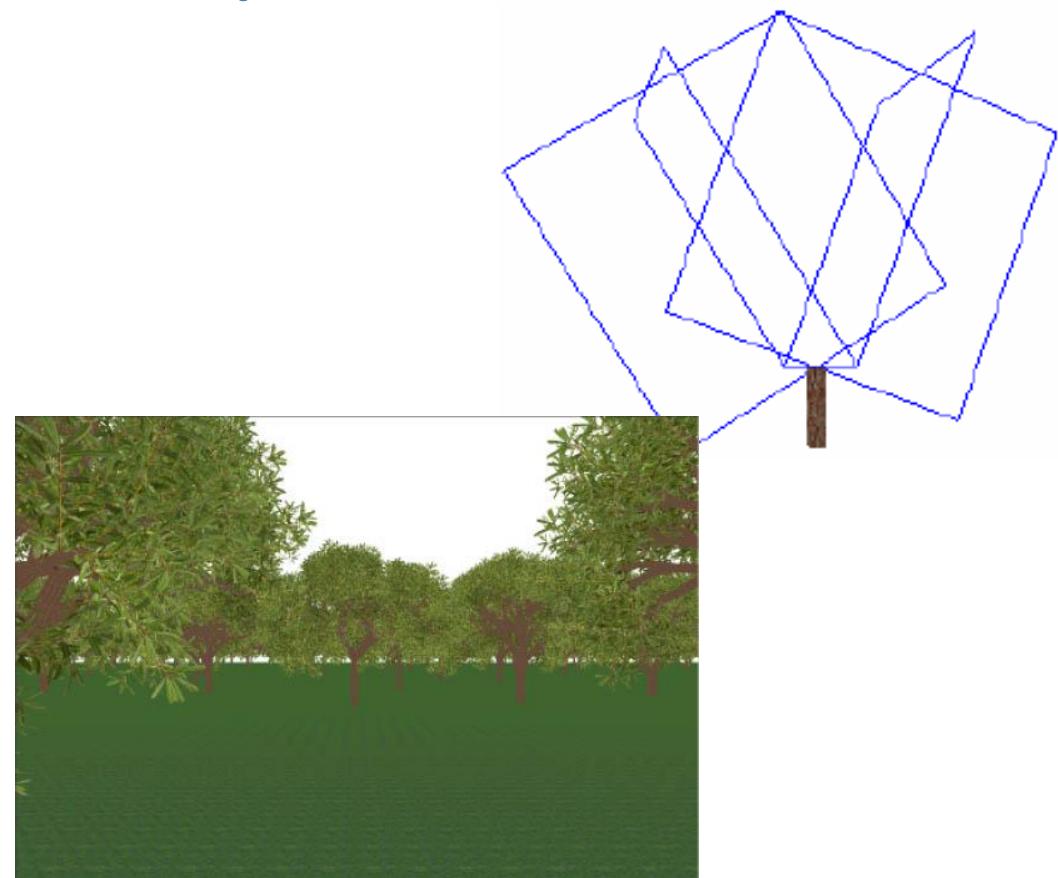
LOD -7



LOD -9



LOD -12



# Types de LOD : imposteur

- LOD imposteur et objet 3D dans la même scène :



Frank Perbet (Imagis, Grenoble) :

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

roseline.beniere@c4w.com

# Types de LOD : imposteur

- LOD imposteur et objet 3D dans la même scène :



Simple texture verte.

Frank Perbet (Imagis, Grenoble) :

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

roseline.beniere@c4w.com

16

# Types de LOD : imposteur

- LOD imposteur et objet 3D dans la même scène :



Simple texture verte.

Texture semi-transparente  
de brins d'herbe plaquée  
que des polygones.

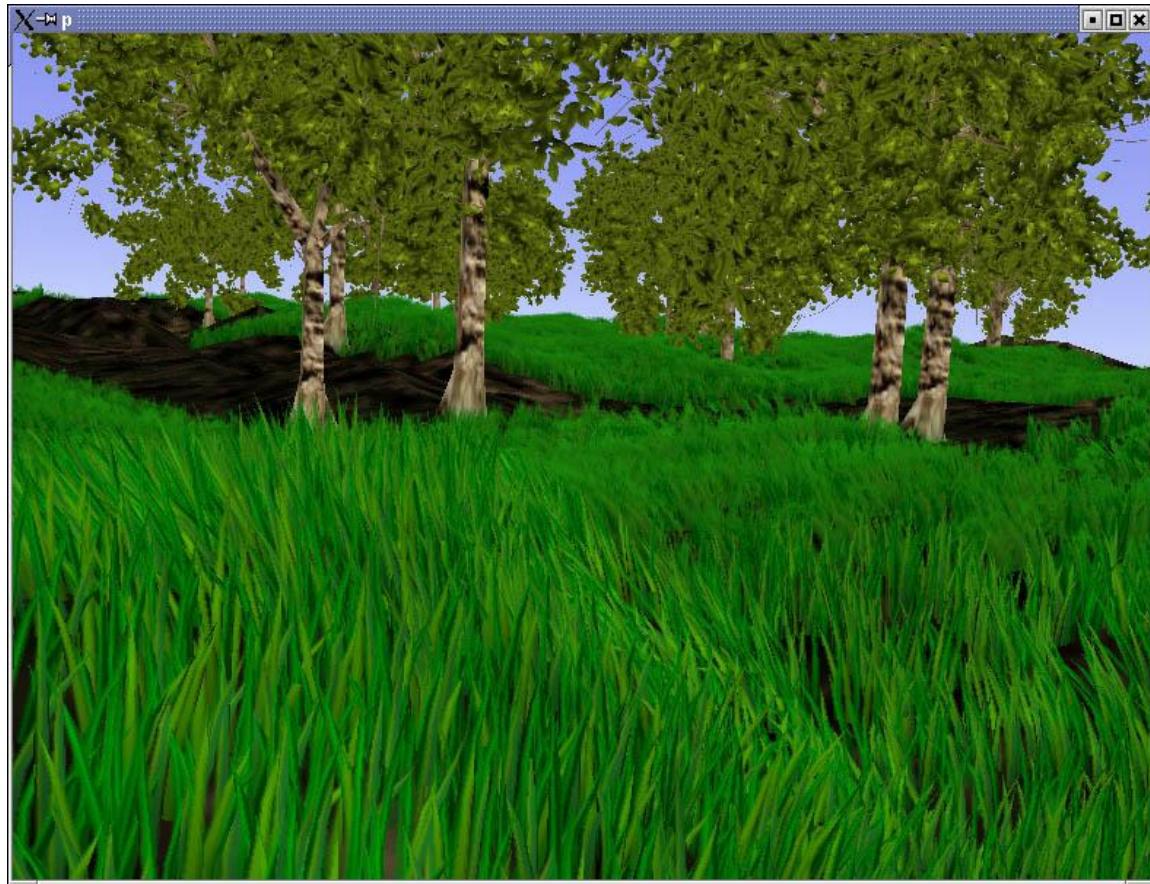
Frank Perbet (Imagis, Grenoble) :

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

roseline.beniere@c4w.com

# Types de LOD : imposteur

- LOD imposteur et objet 3D dans la même scène :



Simple texture verte.

Texture semi-transparente  
de brins d'herbe plaquée  
que des polygones.

Brins d'herbe représentés  
individuellement en 3D.

Frank Perbet (Imagis, Grenoble) :

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

roseline.beniere@c4w.com

16

# Plan

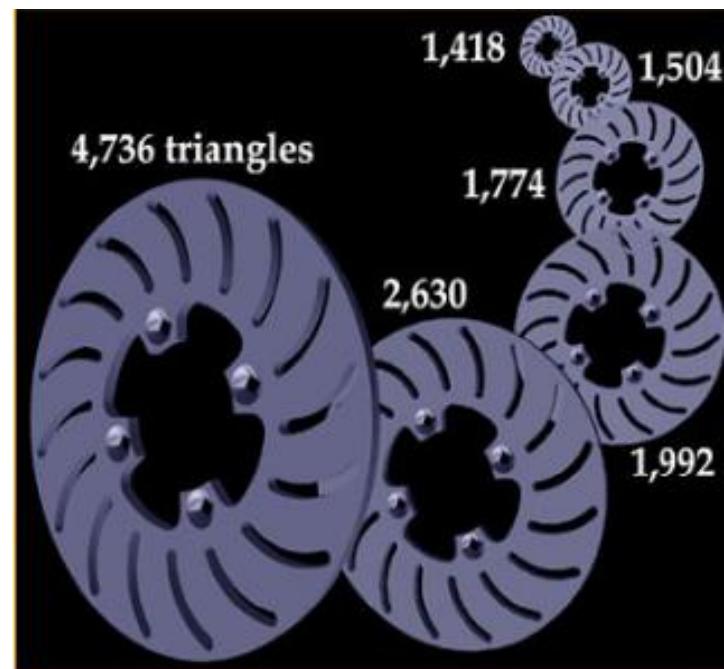
- Introduction
- Simplification
  - Types de LOD (Level Of Details : Niveau de détail)
  - Méthodes de simplification
  - LOD sélection
- Subdivision
  - Subdivision d'une courbe
  - Subdivision d'une surface
  - Subdivision adaptative

# Méthode de simplification

- Plusieurs types de méthodes de simplification de maillages :
  - préservation de la topologie,
  - locales,
  - globales.

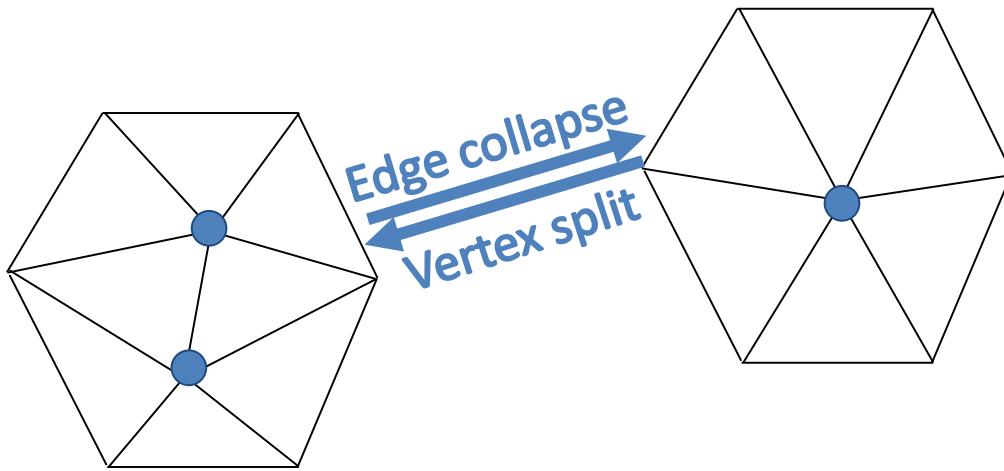
# Méthode de simplification : préservation de la topologie

- Cette simplification ne modifie pas la topologie de l'objet :
  - le genre de l'objet reste le même,
  - limite la simplification,
  - n'est pas toujours nécessaire.



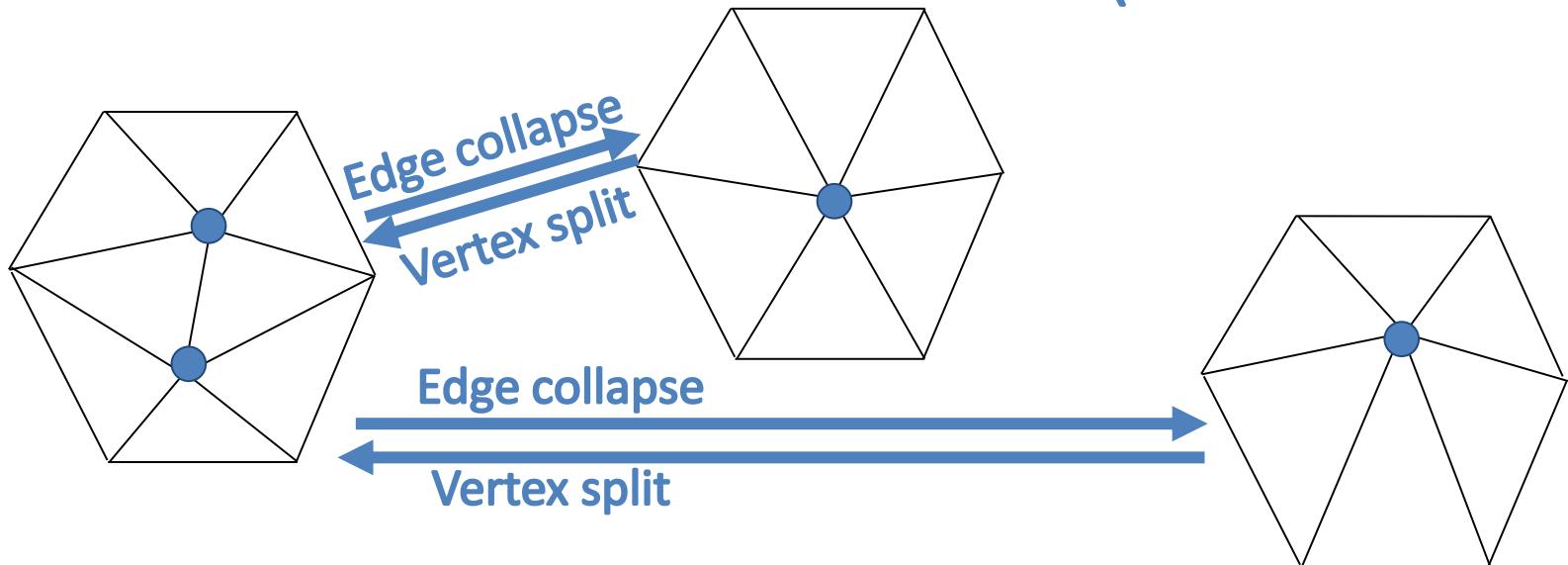
# Méthode de simplification : locale

- Modifie les sommets, les arêtes ou les faces de manière locale :
  - fusion de deux sommets en un seul (milieu de l'arête),



# Méthode de simplification : locale

- Modifie les sommets, les arêtes ou les faces de manière locale :
  - fusion de deux sommets en un seul (milieu de l'arête),
  - variante : un des deux sommets est conservé.

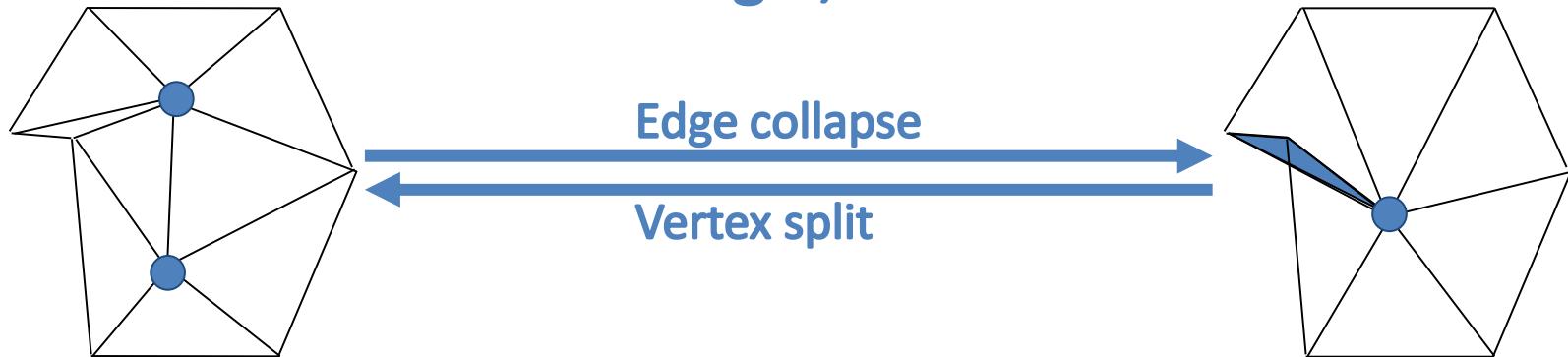


➤ variante : un des deux sommets est conservé.

# Méthode de simplification : locale

- Problèmes de l'*edge collapse* :

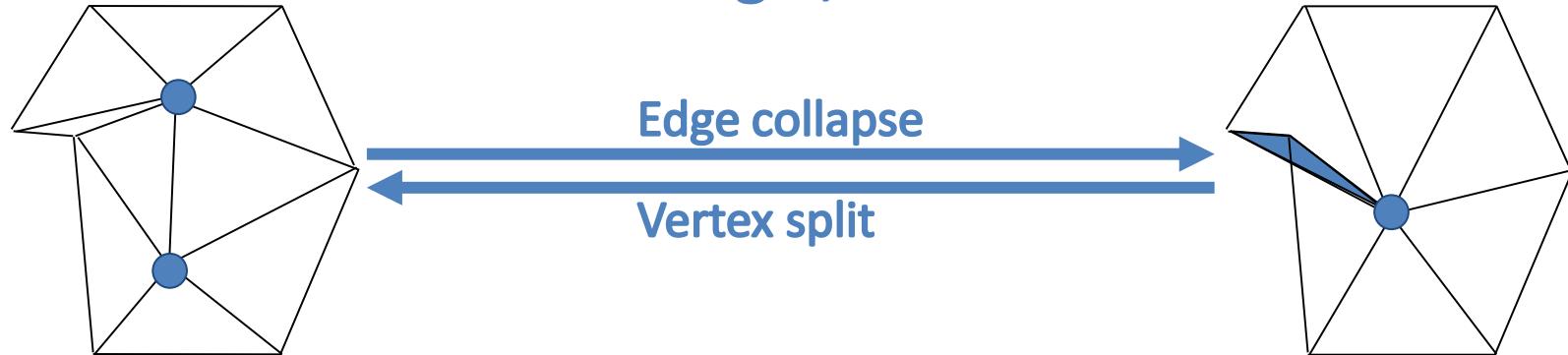
➤ recouvrement de triangle,



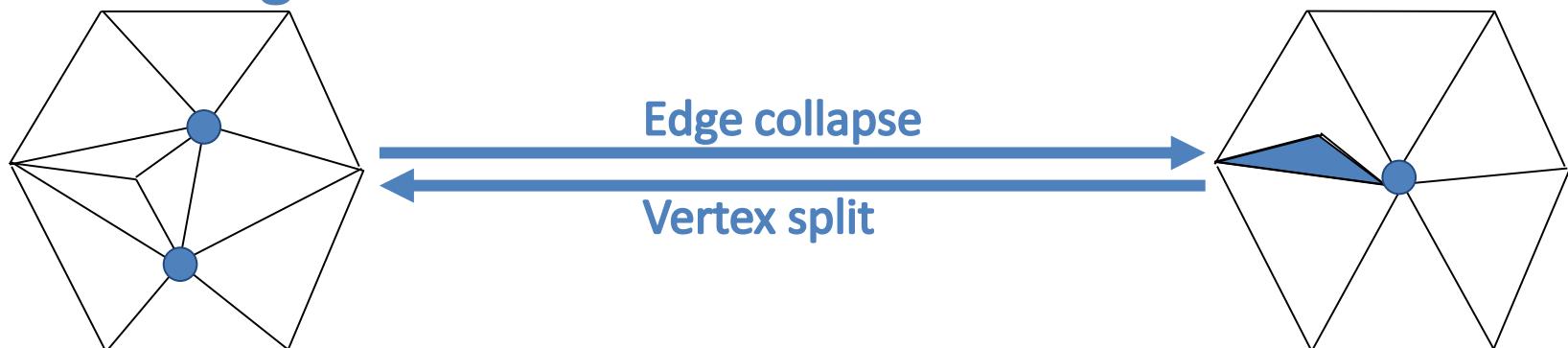
# Méthode de simplification : locale

- Problèmes de l'*edge collapse* :

➤ recouvrement de triangle,



➤ maillage non conforme.

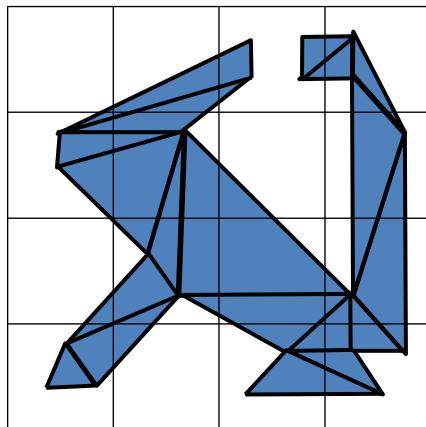


# Méthode de simplification : locale

- Méthode de simplification : fusion de polygones
  - les polygones coplanaires (à une tolérance près) sont fusionnés et re-triangulés,
  - peut être appliquée à des maillages contenant des polygones autres que des triangles,
  - permet de supprimer plusieurs sommets en une fois.

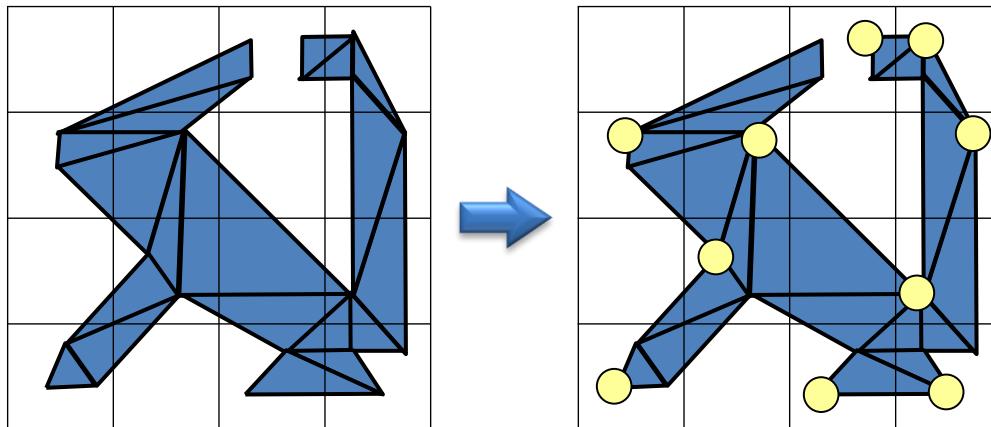
# Méthode de simplification : locale

- Méthode de simplification : fusion par cellules
  - Les sommets sont placés dans des cellules,



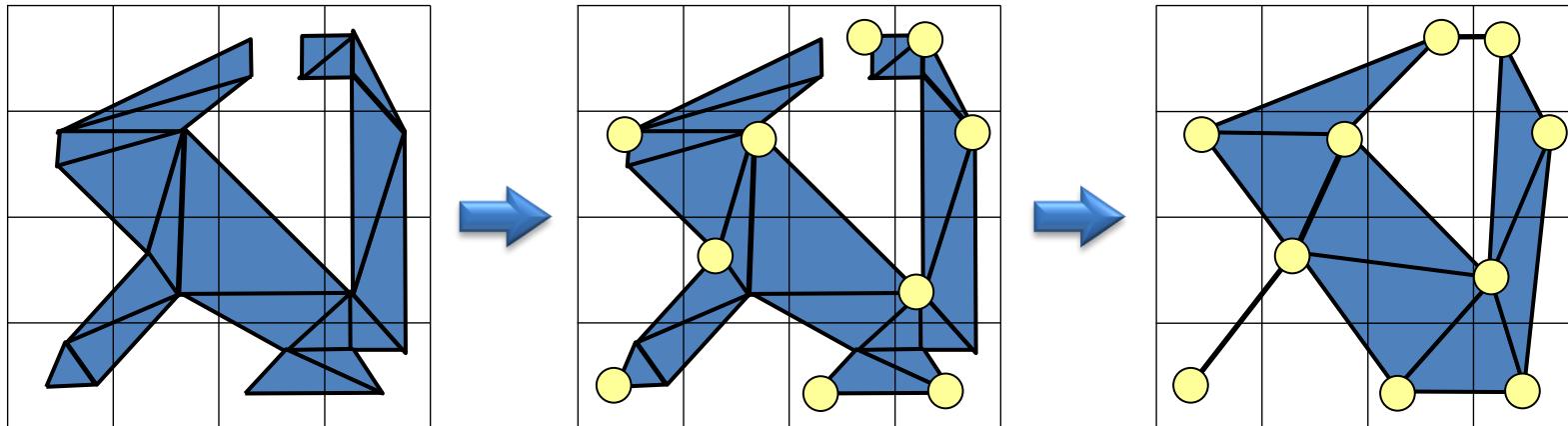
# Méthode de simplification : locale

- Méthode de simplification : fusion par cellules
  - Les sommets sont placés dans des cellules,
  - tous les sommets d'une même cellule sont fusionnés,



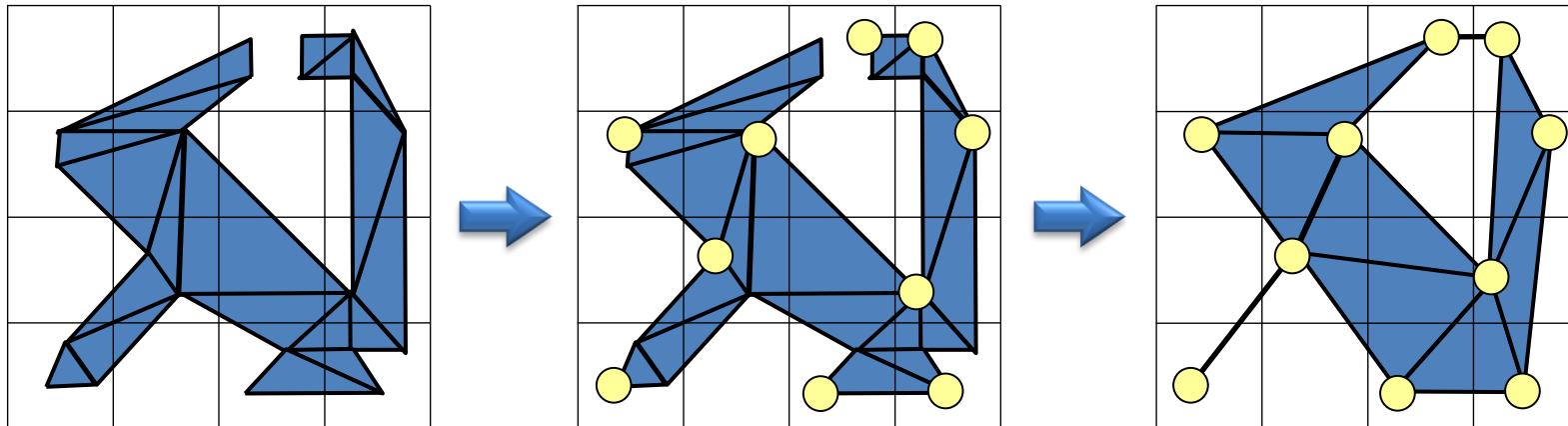
# Méthode de simplification : locale

- Méthode de simplification : fusion par cellules
  - Les sommets sont placés dans des cellules,
  - tous les sommets d'une même cellule sont fusionnés,
  - tous les triangles ayant 2 ou 3 sommets dans une cellule sont remplacés par une arête ou un sommet.



# Méthode de simplification : locale

- Méthode de simplification : fusion par cellules
  - Les sommets sont placés dans des cellules,
  - tous les sommets d'une même cellule sont fusionnés,
  - tous les triangles ayant 2 ou 3 sommets dans une cellule sont remplacés par une arête ou un sommet.



→ plus globale mais ne conserve pas la topologie.

# Méthode de simplification : globale

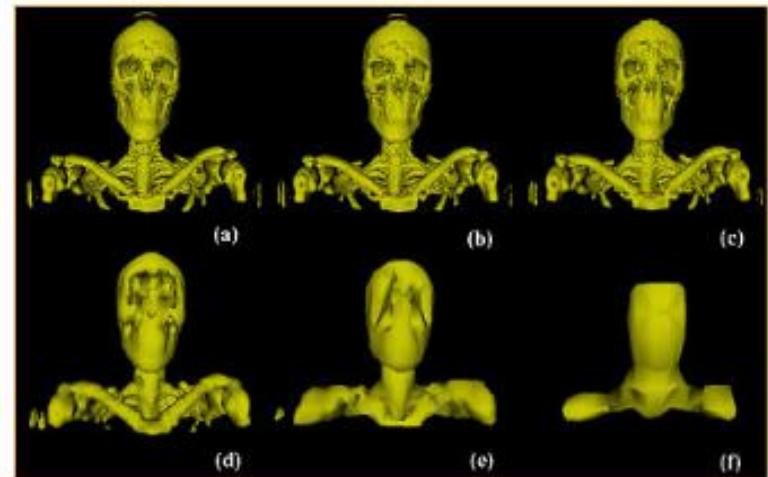
- Modifie le maillage dans sa globalité, correspond souvent à un remaillage :

# Méthode de simplification : globale

- Modifie le maillage dans sa globalité, correspond souvent à un remaillage :

➤ rendu volume

- pixelisation dans une grille,
- filtre passe-bas sur la grille,
- reconstruction du maillage (marching cube).



# Méthode de simplification : globale

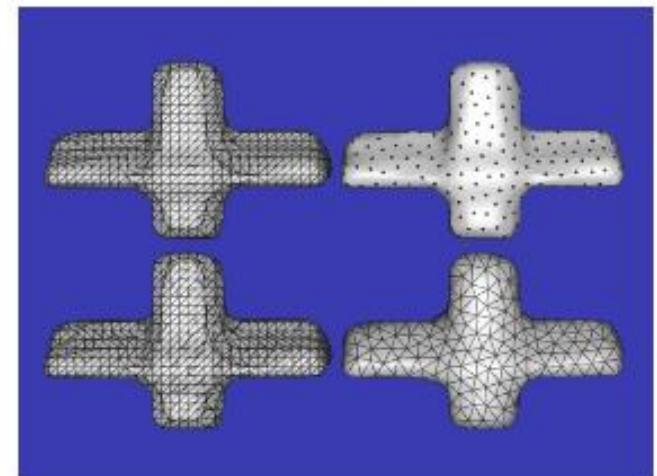
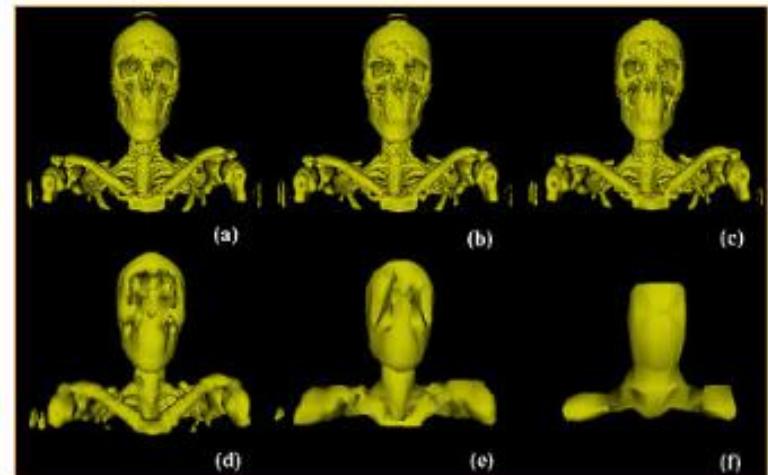
- Modifie le maillage dans sa globalité, correspond souvent à un remaillage :

## ➤ rendu volume

- pixelisation dans une grille,
- filtre passe-bas sur la grille,
- reconstruction du maillage (marching cube).

## ➤ redistribution des polygones

- distribution des points sur la surface,
- re-triangulation des points.

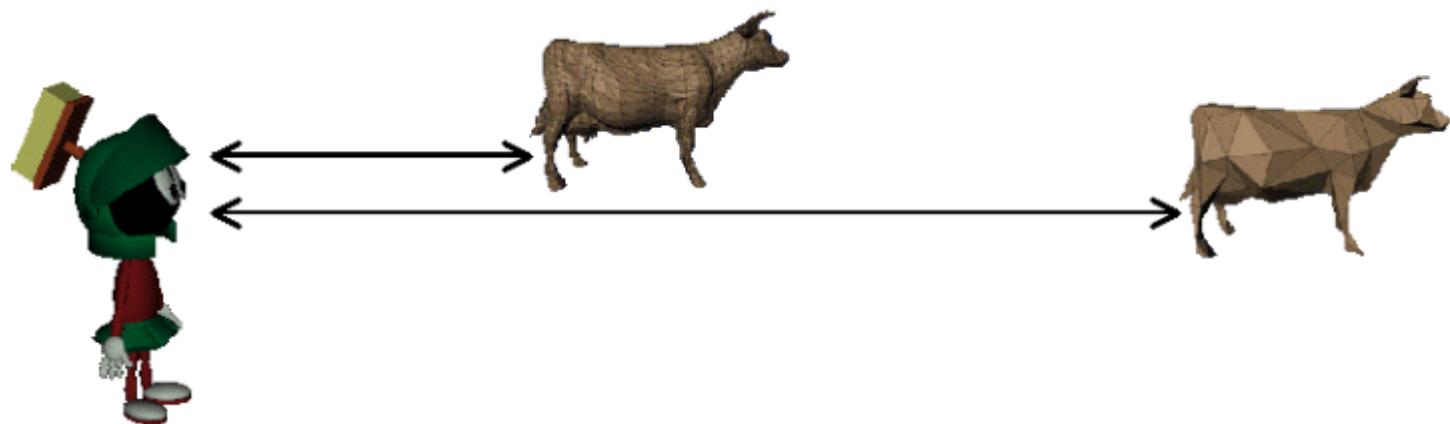


# Plan

- Introduction
- Simplification
  - Types de LOD (Level Of Details : Niveau de détail)
  - Méthodes de simplification
  - LOD sélection
- Subdivision
  - Subdivision d'une courbe
  - Subdivision d'une surface
  - Subdivision adaptative

# LOD sélection

- Plusieurs critères possibles :
  - distance entre les objets et ``l'œil'',
  - taille de la scène (zoom),
  - priorité de certains objets, conditions environnementales, facteurs perceptuels ...



# LOD sélection : erreurs métriques

- Erreurs métriques utiles pour :
  - guider les simplifications,
  - estimer les résultats des simplifications,
  - savoir quel modèle utiliser à l'affichage.
- Erreurs étudiées:
  - erreurs géométriques,
  - erreurs sur les attributs.

# LOD sélection : erreurs métriques

- Comment mesurer la distance entre 2 surfaces :
  - distances d'Hausdorff,
  - approximation.

# LOD sélection : erreurs métriques

- Comment mesurer la distance entre 2 surfaces :
  - distances d'Hausdorff,
  - approximation.
- Différence entre erreur maximum et erreur moyenne.

# LOD sélection : erreurs métriques

- Comment mesurer la distance entre 2 surfaces :
  - distances d'Hausdorff,
  - approximation.
- Différence entre erreur maximum et erreur moyenne.
- Erreurs au niveau de l'écran.

# LOD sélection : erreurs métriques

- Approches possibles :
  - sommet-sommet
    - naturel pour la fusion des points,
    - ne reflète pas les changements sur la surface.
  - sommet-plan
    - distance entre un sommet et le plan support des faces,
    - imprécis en théorie.
  - sommet-surface
    - distance avec le point le plus proche sur la surface.
  - surface-surface
    - la meilleure méthode pour estimer les modifications sur un objet,
    - difficile à calculer.

# Plan

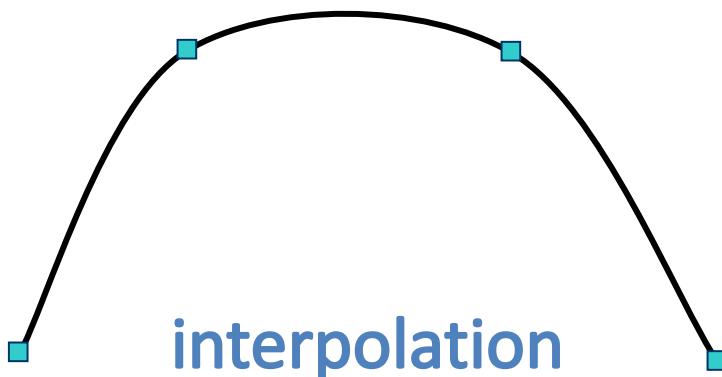
- Introduction
- Simplification
  - Types de LOD (Level Of Details : Niveau de détail)
  - Méthodes de simplification
  - LOD sélection
- Subdivision
  - Subdivision d'une courbe
  - Subdivision d'une surface
  - Subdivision adaptative

# Subdivision d'une courbe

- Créer une courbe à partir de points :

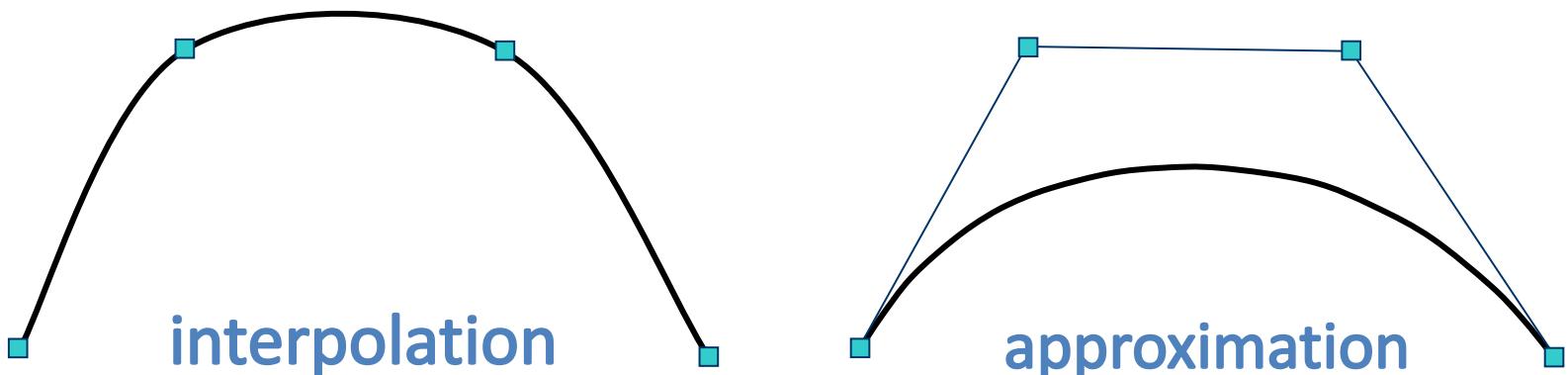
# Subdivision d'une courbe

- Créer une courbe à partir de points :
  - interpolation : la courbe passe par les points,



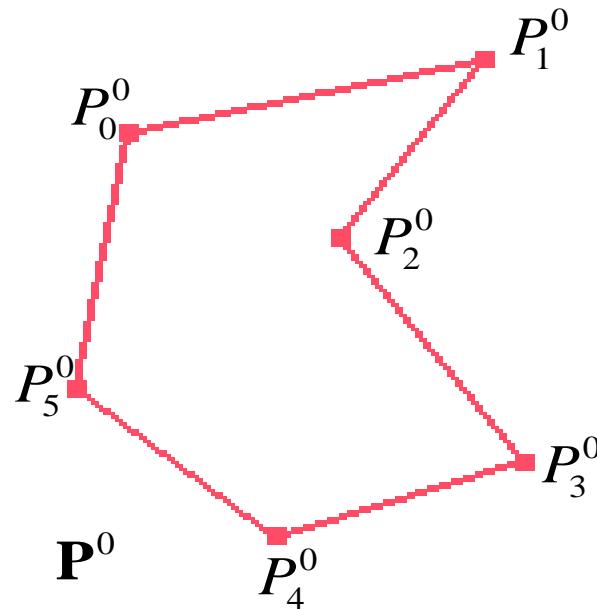
# Subdivision d'une courbe

- Créer une courbe à partir de points :
  - interpolation : la courbe passe par les points,
  - approximation : la courbe est attirée par les points.



# Subdivision d'une courbe

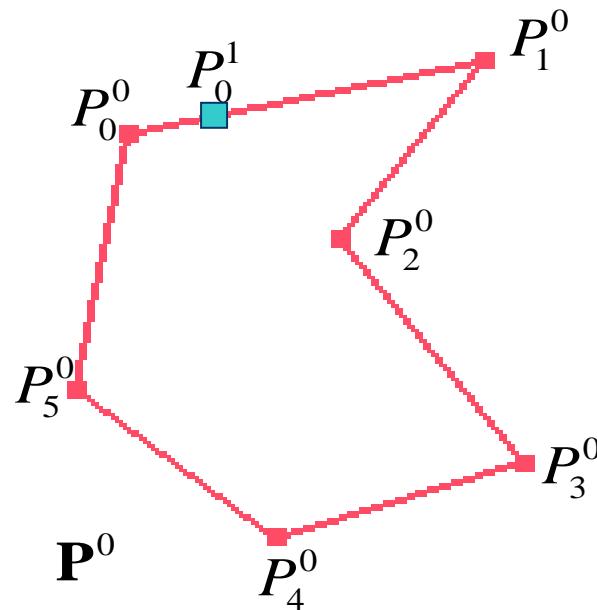
- Subdiviser une courbe avec l'algorithme de Chaikin :



# Subdivision d'une courbe

- Subdiviser une courbe avec l'algorithme de Chaikin :

$$P_{2i}^{k+1} = \frac{3}{4} P_i^k + \frac{1}{4} P_{i+1}^k$$

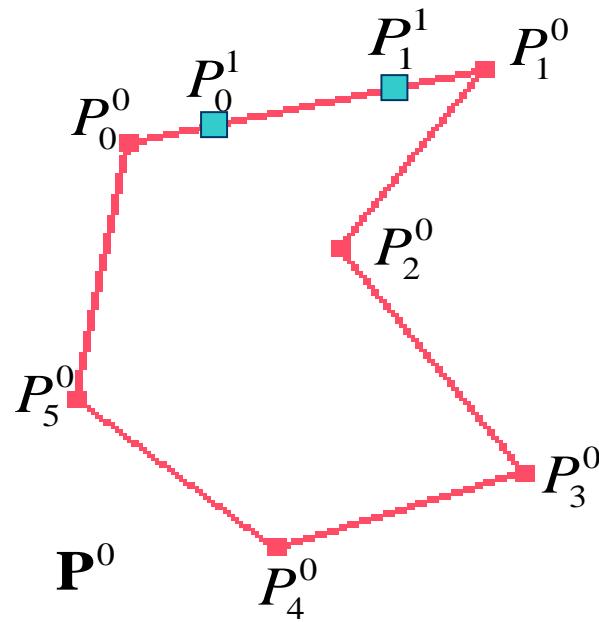


# Subdivision d'une courbe

- Subdiviser une courbe avec l'algorithme de Chaikin :

$$P_{2i}^{k+1} = \frac{3}{4} P_i^k + \frac{1}{4} P_{i+1}^k$$

$$P_{2i+1}^{k+1} = \frac{1}{4} P_i^k + \frac{3}{4} P_{i+1}^k$$

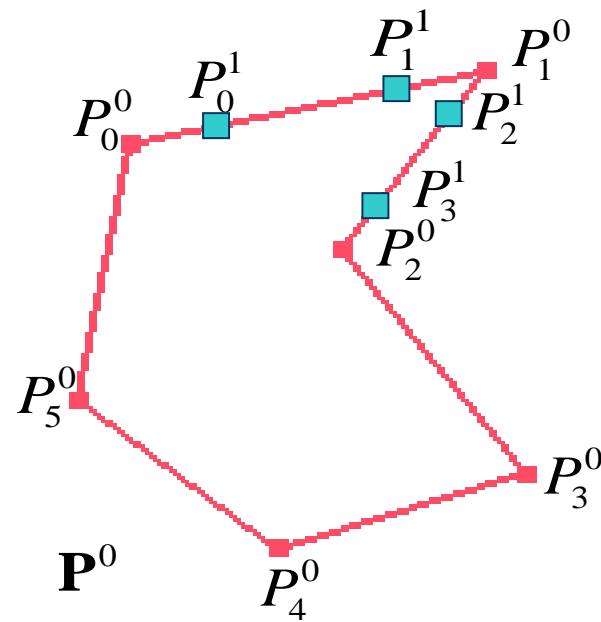


# Subdivision d'une courbe

- Subdiviser une courbe avec l'algorithme de Chaikin :

$$P_{2i}^{k+1} = \frac{3}{4} P_i^k + \frac{1}{4} P_{i+1}^k$$

$$P_{2i+1}^{k+1} = \frac{1}{4} P_i^k + \frac{3}{4} P_{i+1}^k$$

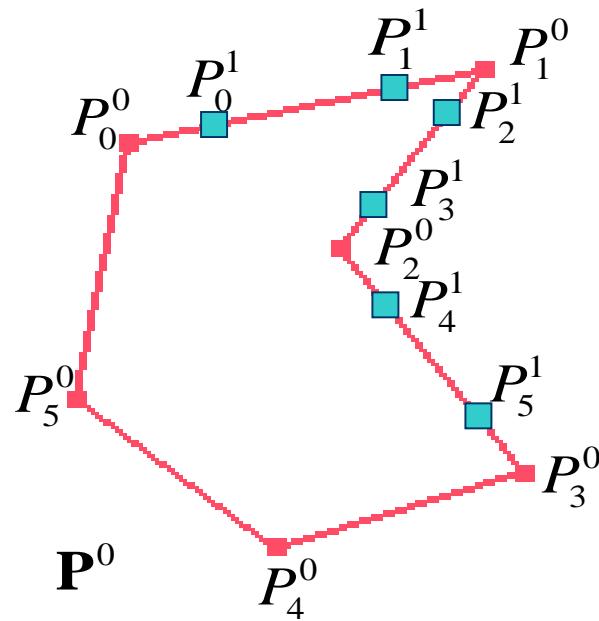


# Subdivision d'une courbe

- Subdiviser une courbe avec l'algorithme de Chaikin :

$$P_{2i}^{k+1} = \frac{3}{4} P_i^k + \frac{1}{4} P_{i+1}^k$$

$$P_{2i+1}^{k+1} = \frac{1}{4} P_i^k + \frac{3}{4} P_{i+1}^k$$

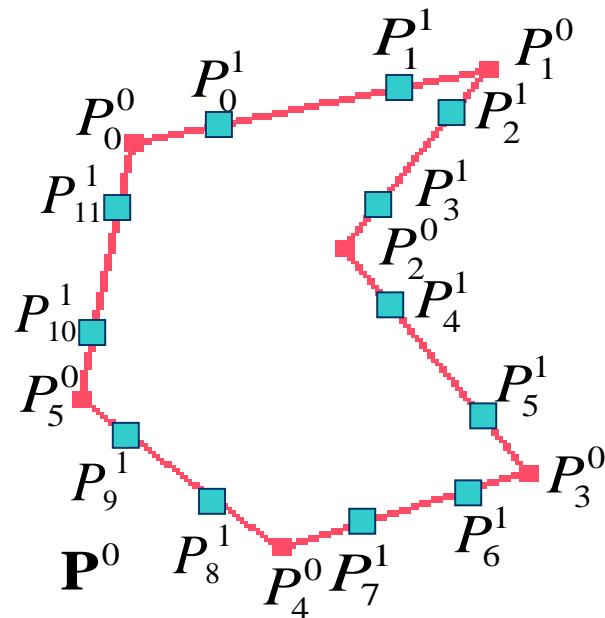


# Subdivision d'une courbe

- Subdiviser une courbe avec l'algorithme de Chaikin :

$$P_{2i}^{k+1} = \frac{3}{4} P_i^k + \frac{1}{4} P_{i+1}^k$$

$$P_{2i+1}^{k+1} = \frac{1}{4} P_i^k + \frac{3}{4} P_{i+1}^k$$

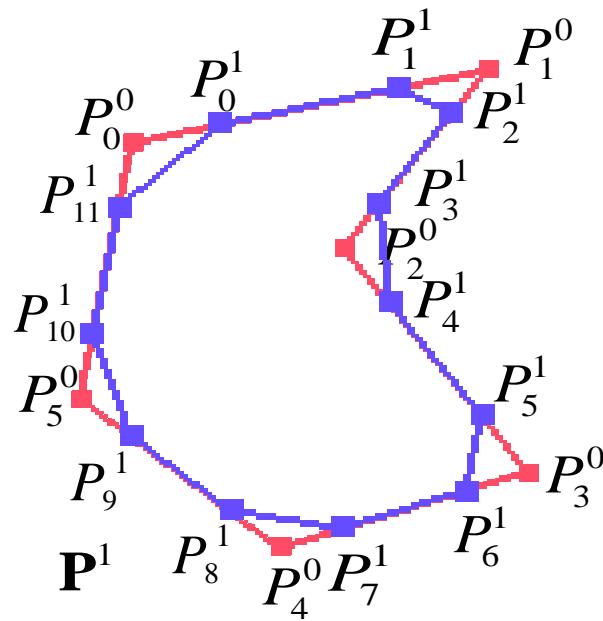


# Subdivision d'une courbe

- Subdiviser une courbe avec l'algorithme de Chaikin :

$$P_{2i}^{k+1} = \frac{3}{4} P_i^k + \frac{1}{4} P_{i+1}^k$$

$$P_{2i+1}^{k+1} = \frac{1}{4} P_i^k + \frac{3}{4} P_{i+1}^k$$

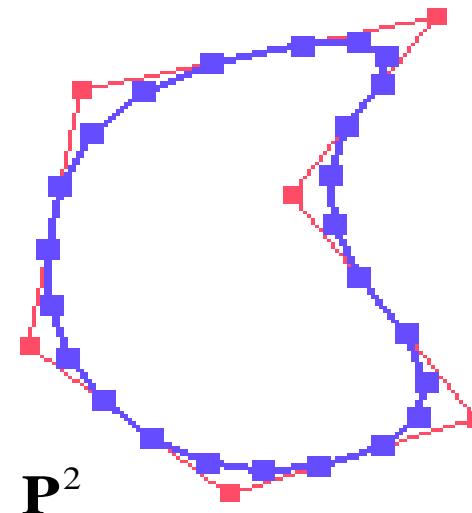


# Subdivision d'une courbe

- Subdiviser une courbe avec l'algorithme de Chaikin :

$$P_{2i}^{k+1} = \frac{3}{4} P_i^k + \frac{1}{4} P_{i+1}^k$$

$$P_{2i+1}^{k+1} = \frac{1}{4} P_i^k + \frac{3}{4} P_{i+1}^k$$

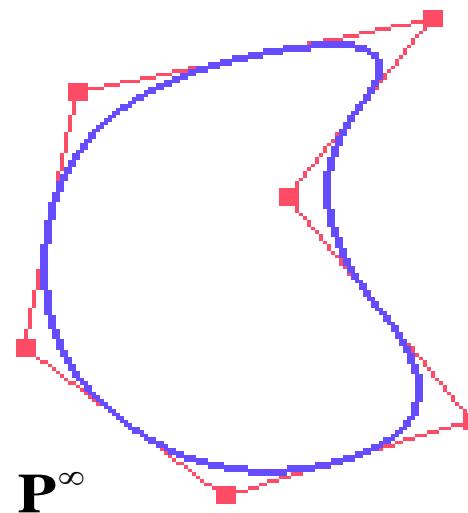


# Subdivision d'une courbe

- Subdiviser une courbe avec l'algorithme de Chaikin :

$$P_{2i}^{k+1} = \frac{3}{4} P_i^k + \frac{1}{4} P_{i+1}^k$$

$$P_{2i+1}^{k+1} = \frac{1}{4} P_i^k + \frac{3}{4} P_{i+1}^k$$



# Plan

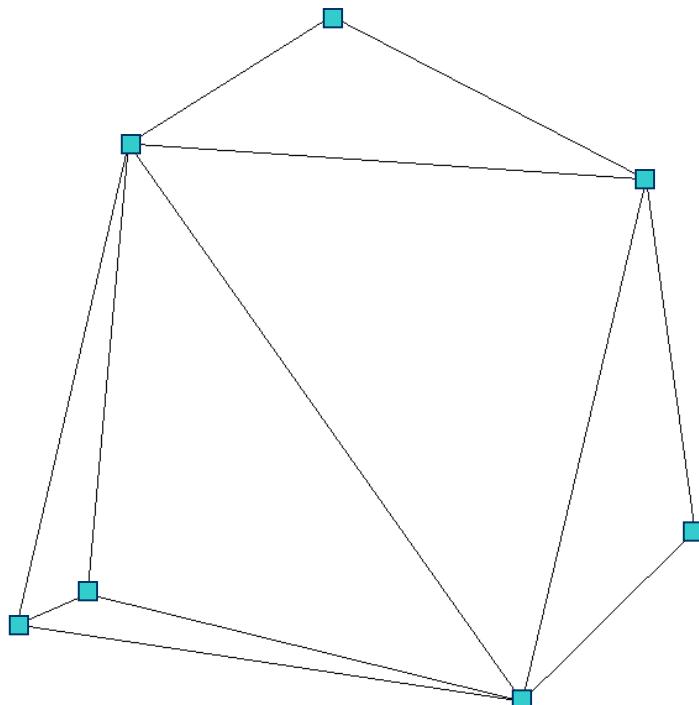
- Introduction
- Simplification
  - Types de LOD (Level Of Details : Niveau de détail)
  - Méthodes de simplification
  - LOD sélection
- Subdivision
  - Subdivision d'une courbe
  - **Subdivision d'une surface**
  - Subdivision adaptative

# Subdivision d'une surface

- Créer une surface à partir de points :

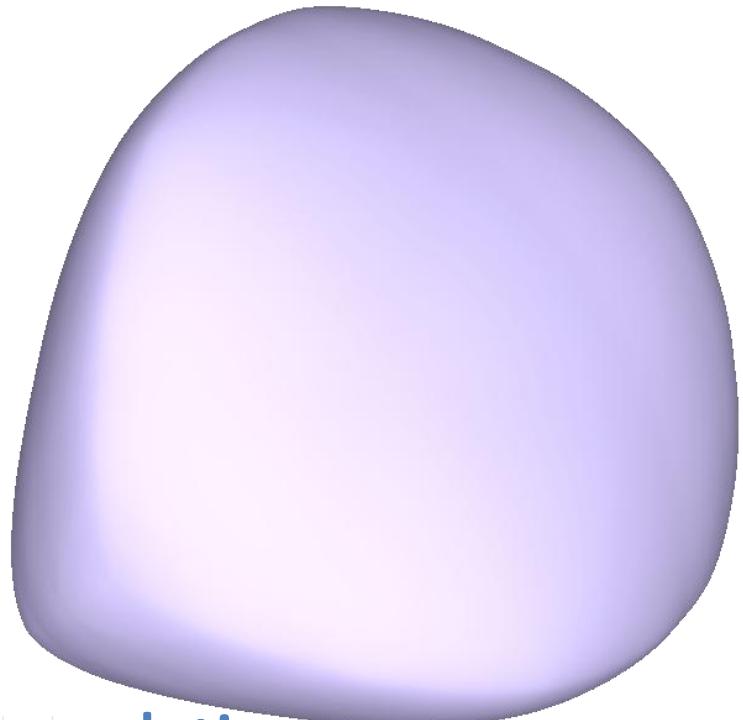
# Subdivision d'une surface

- Créer une surface à partir de points :
  - interpolation : la surface passe par les points,



# Subdivision d'une surface

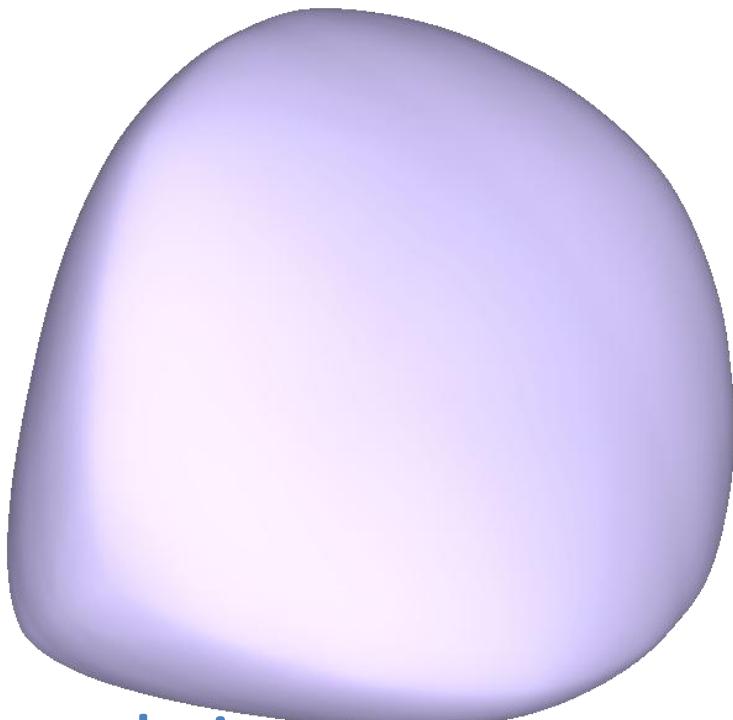
- Créer une surface à partir de points :
  - interpolation : la surface passe par les points,



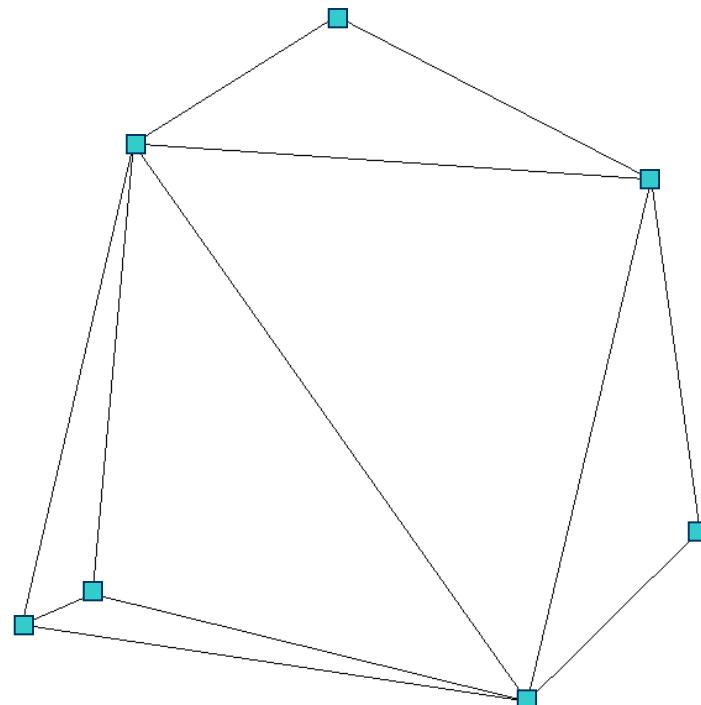
interpolation

# Subdivision d'une surface

- Créer une surface à partir de points :
  - interpolation : la surface passe par les points,
  - approximation : la surface est attirée par les points.

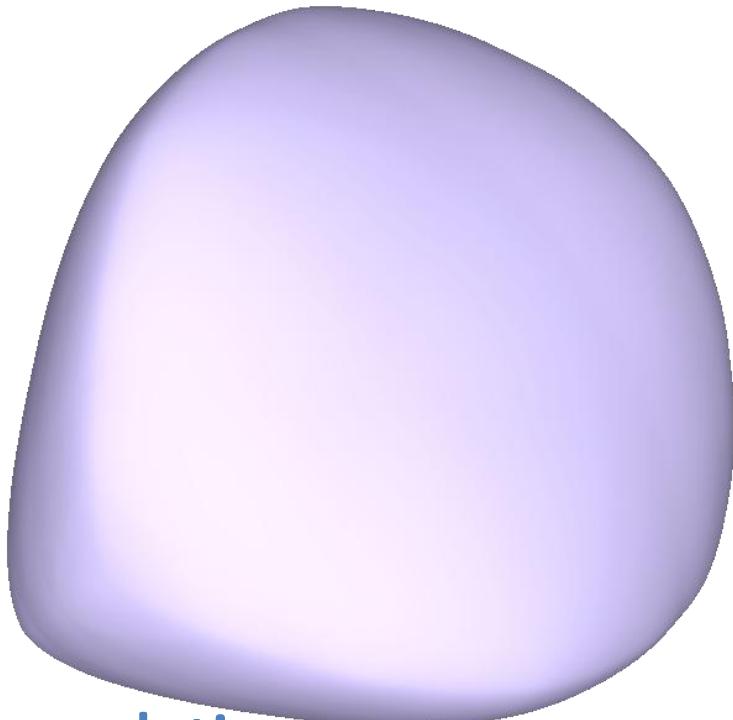


interpolation

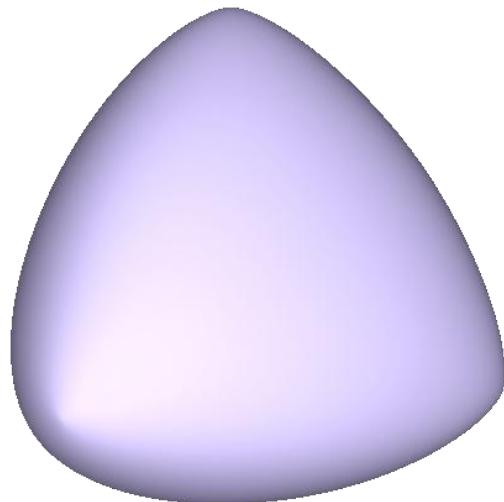


# Subdivision d'une surface

- Créer une surface à partir de points :
  - interpolation : la surface passe par les points,
  - approximation : la surface est attirée par les points.



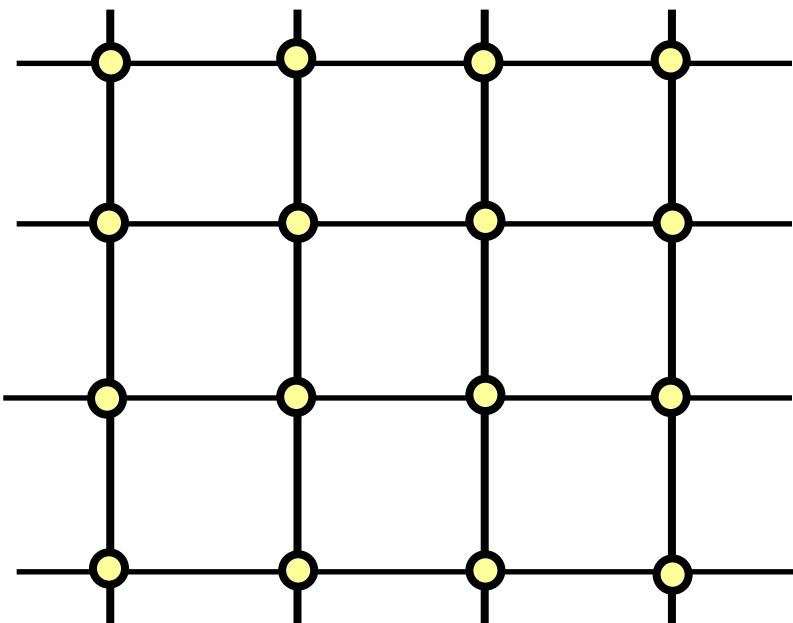
interpolation



approximation

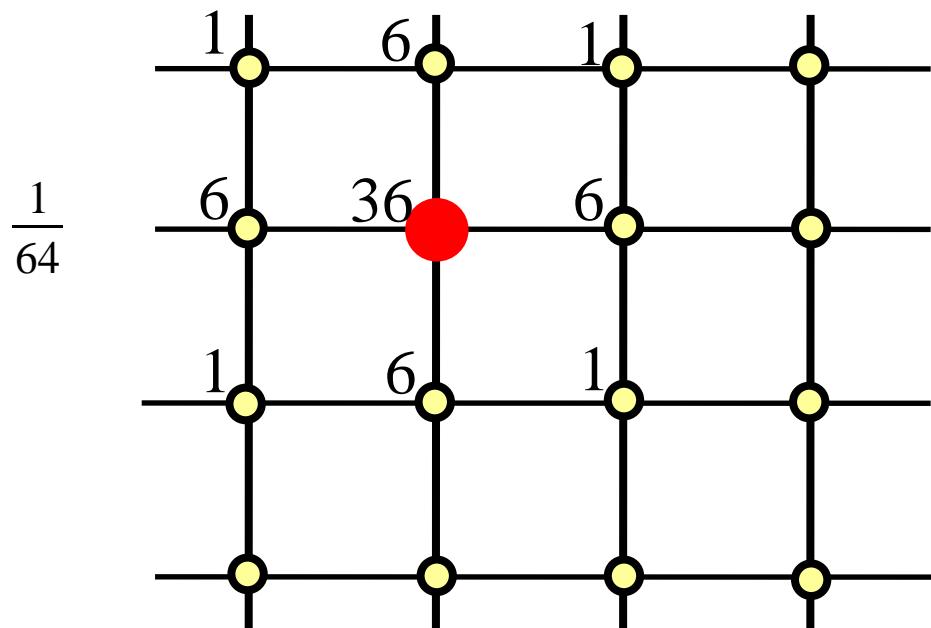
# Subdivision d'une surface

- Schéma de subdivision :



# Subdivision d'une surface

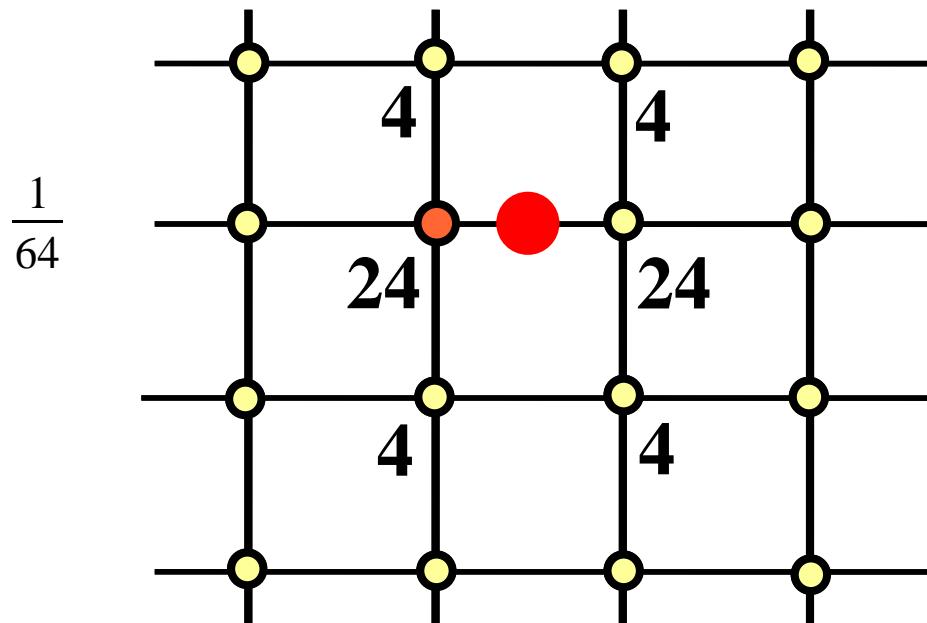
- Schéma de subdivision :
  - modification de sommet, ●



# Subdivision d'une surface

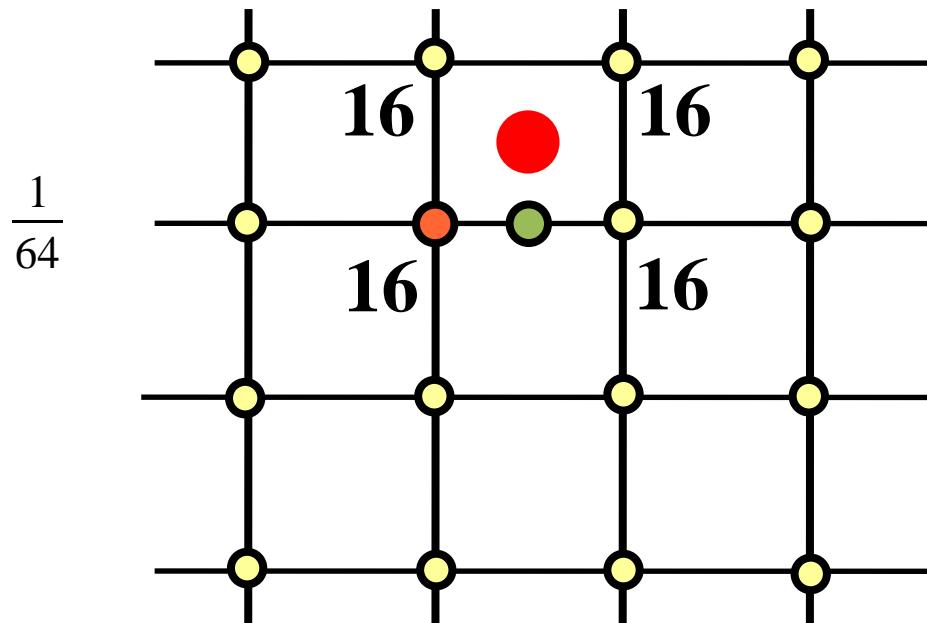
- Schéma de subdivision :

- modification de sommet, ●
- ajout d'un sommet par arête, ●



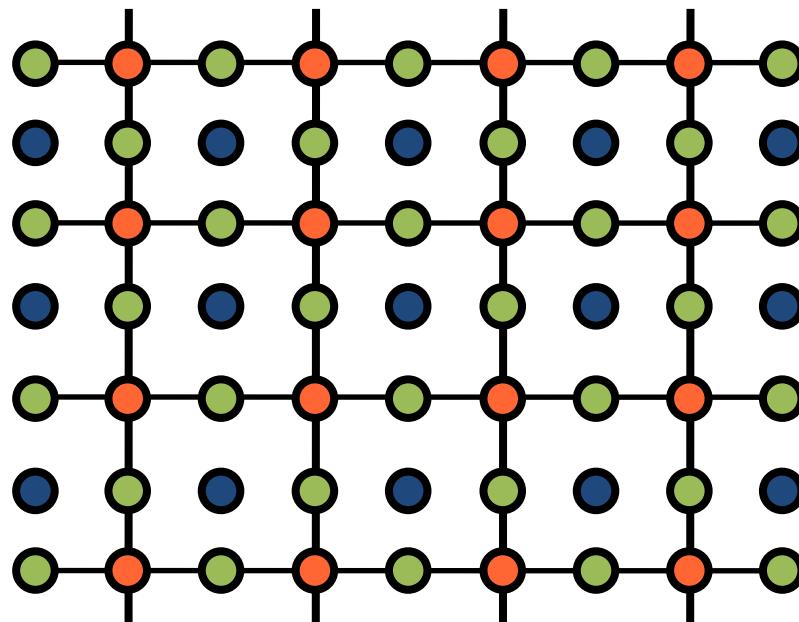
# Subdivision d'une surface

- Schéma de subdivision :
  - modification de sommet, ●
  - ajout d'un sommet par arête, ○
  - ajout d'un sommet par face. ●



# Subdivision d'une surface

- Schéma de subdivision :
  - modification de sommet, ●
  - ajout d'un sommet par arête, ○
  - ajout d'un sommet par face. ●

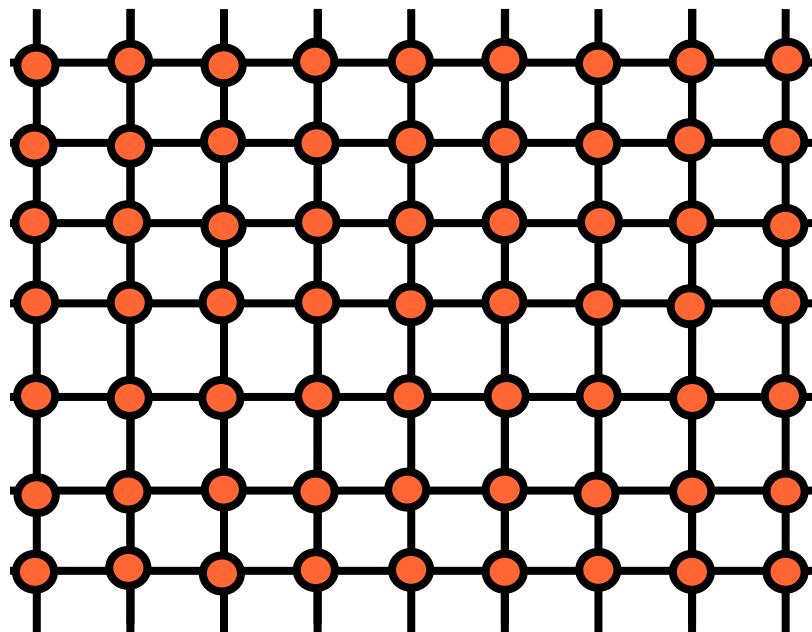


# Subdivision d'une surface

- Schéma de subdivision :

- modification de sommet, ●
- ajout d'un sommet par arête, ●
- ajout d'un sommet par face. ●

remaillage

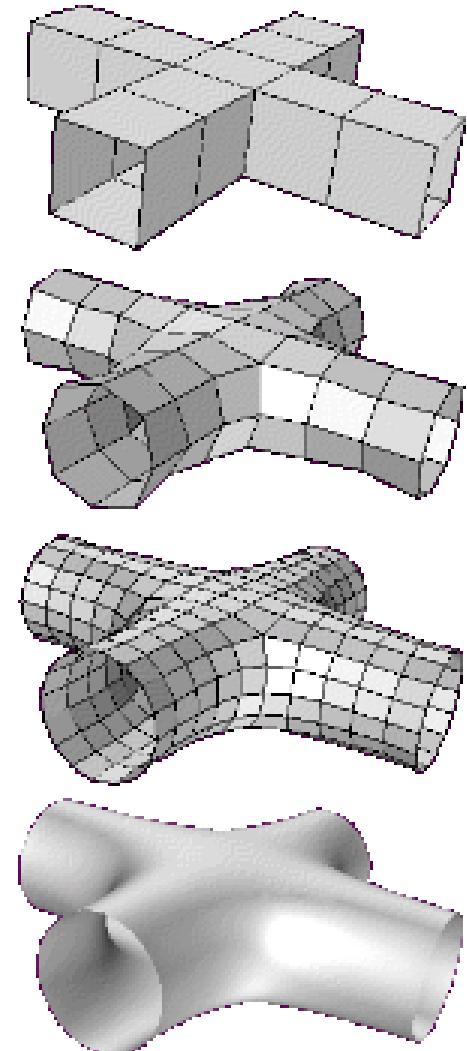
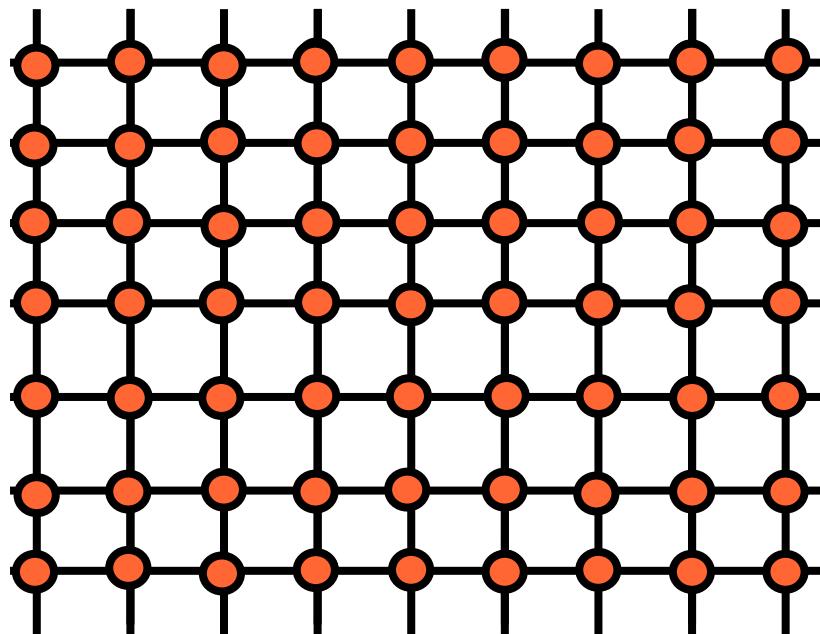


# Subdivision d'une surface

- Schéma de subdivision :

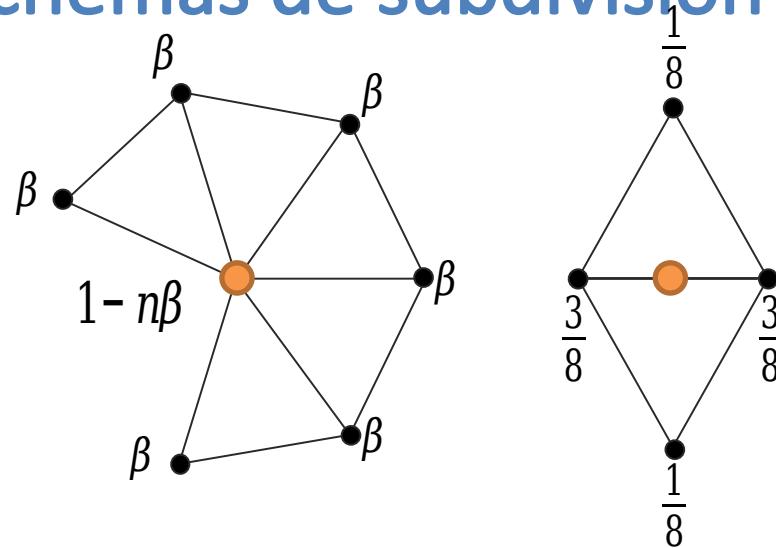
- modification de sommet, ●
- ajout d'un sommet par arête, ●
- ajout d'un sommet par face. ●

remaillage



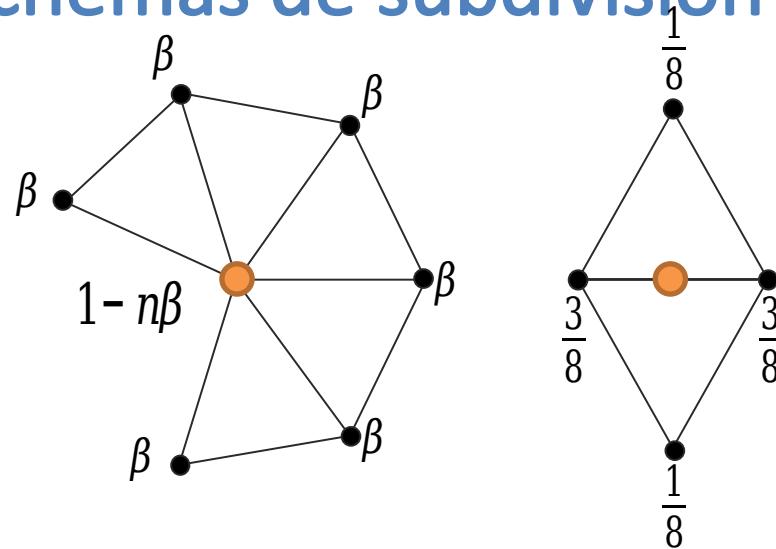
# Subdivision d'une surface

- Il existe plusieurs schémas de subdivision :
  - schéma Loop,



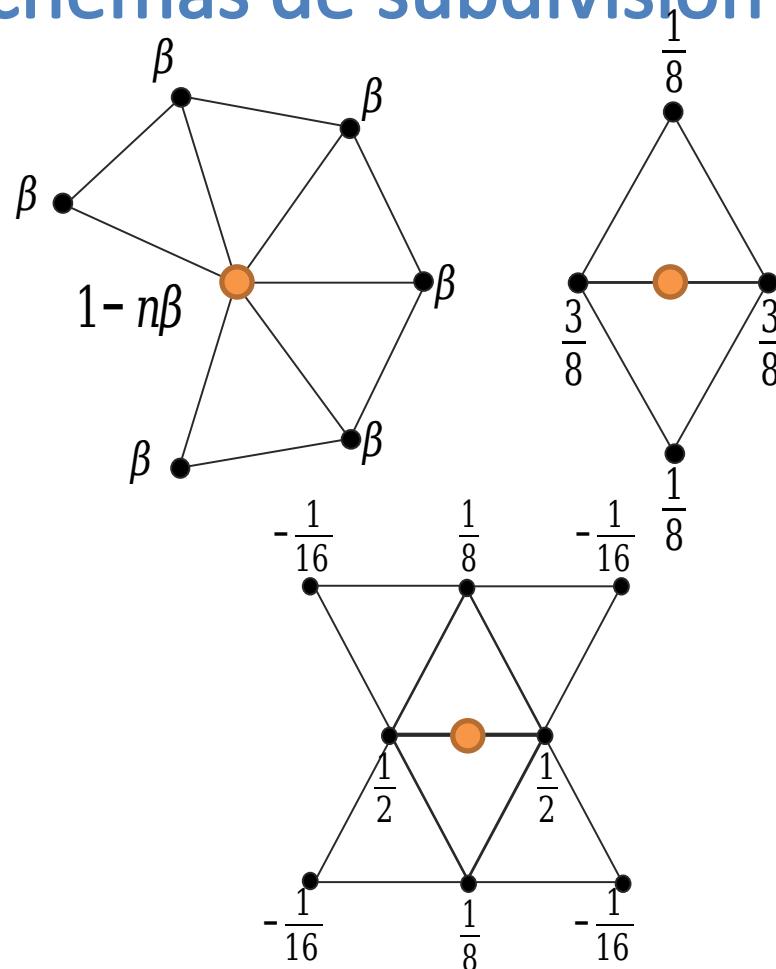
# Subdivision d'une surface

- Il existe plusieurs schémas de subdivision :
    - schéma Loop,
- approximation



# Subdivision d'une surface

- Il existe plusieurs schémas de subdivision :
  - schéma Loop,
  - approximation
  - schéma Butterfly.



# Subdivision d'une surface

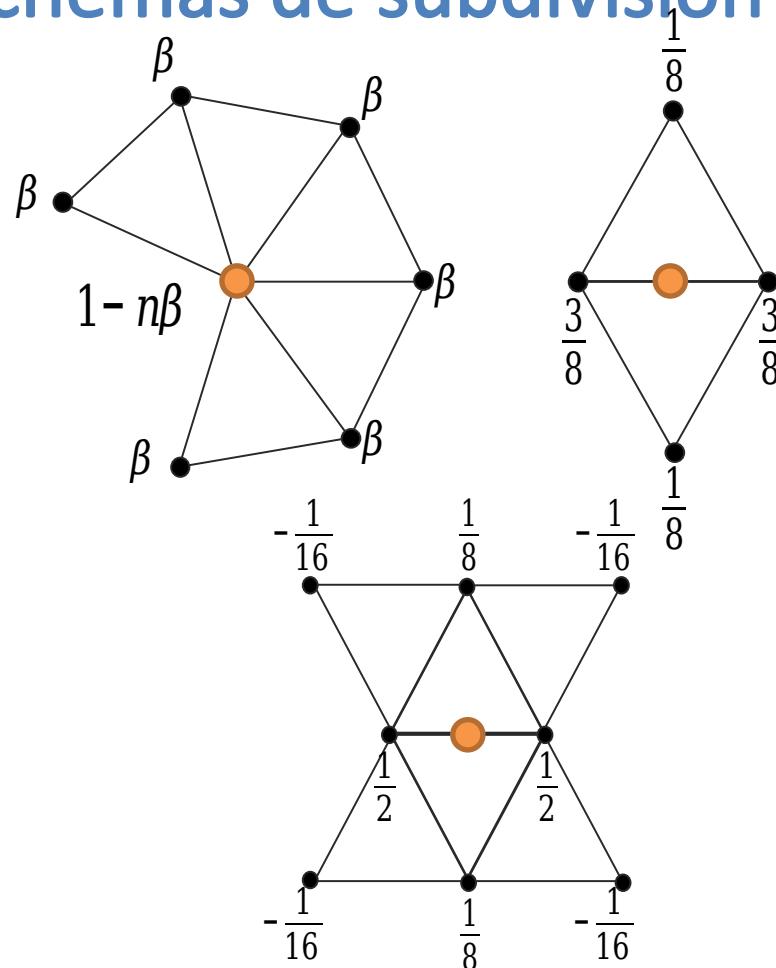
- Il existe plusieurs schémas de subdivision :

➤ schéma Loop,

approximation

➤ schéma Butterfly.

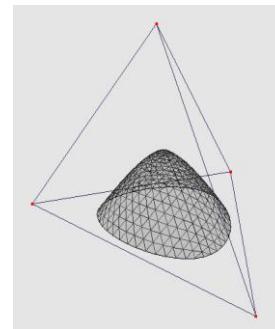
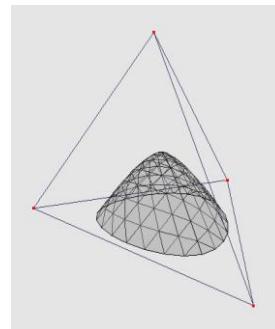
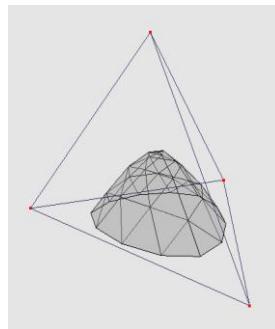
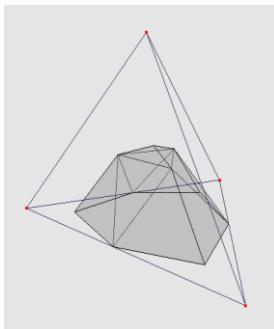
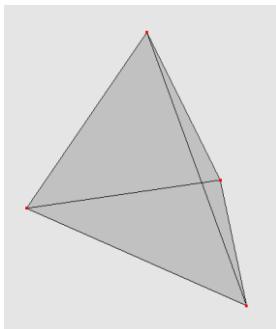
interpolation



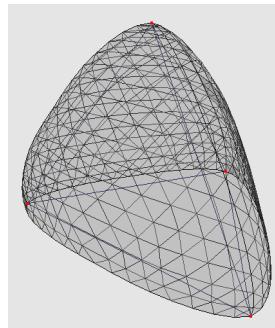
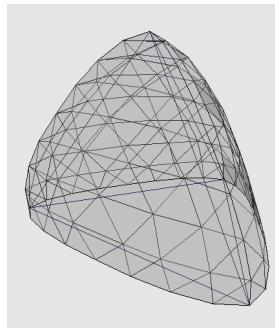
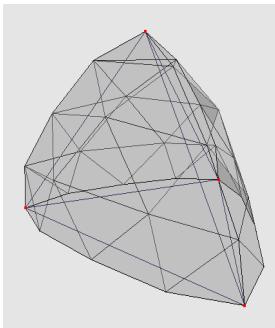
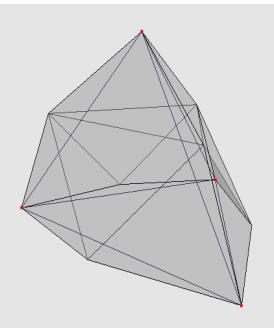
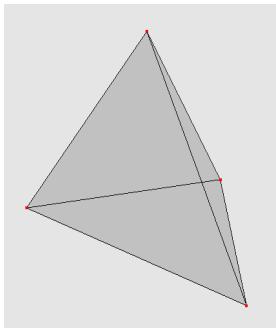
# Subdivision d'une surface

- Il existe plusieurs schéma de subdivision :

➤schéma Loop,



➤schéma Butterfly.



# Plan

- **Introduction**
- **Simplification**
  - Types de LOD (Level Of Details : Niveau de détail)
  - Méthodes de simplification
  - LOD sélection
- **Subdivision**
  - Subdivision d'une courbe
  - Subdivision d'une surface
  - **Subdivision adaptative**

# Subdivision adaptative

- Le principe de la subdivision adaptative ou non-uniforme est de ne pas subdiviser tout le maillage de la même manière :

# Subdivision adaptative

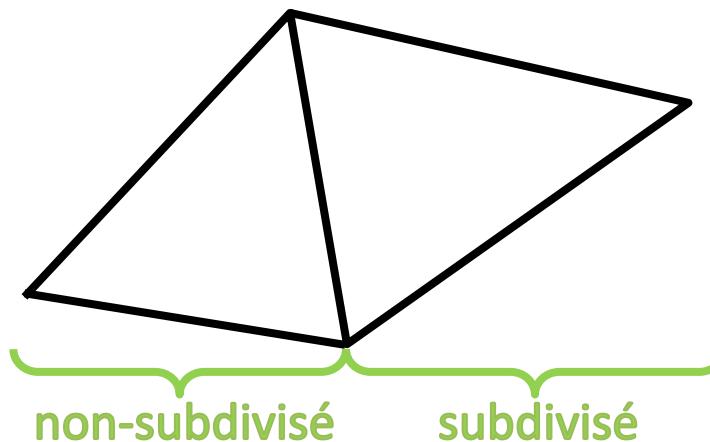
- Le principe de la subdivision adaptative ou non-uniforme est de ne pas subdiviser tout le maillage de la même manière :  
➤ où subdiviser ➔ critère de subdivision?

# Subdivision adaptative

- Le principe de la subdivision adaptative ou non-uniforme est de ne pas subdiviser tout le maillage de la même manière :
  - où subdiviser ➔ critère de subdivision?
  - comment subdiviser ➔ schéma spécifique de subdivision?

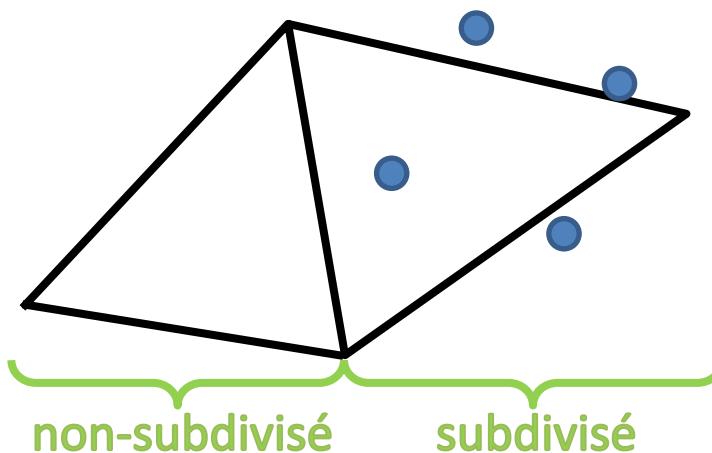
# Subdivision adaptative

- Difficultés de la subdivision adaptative :



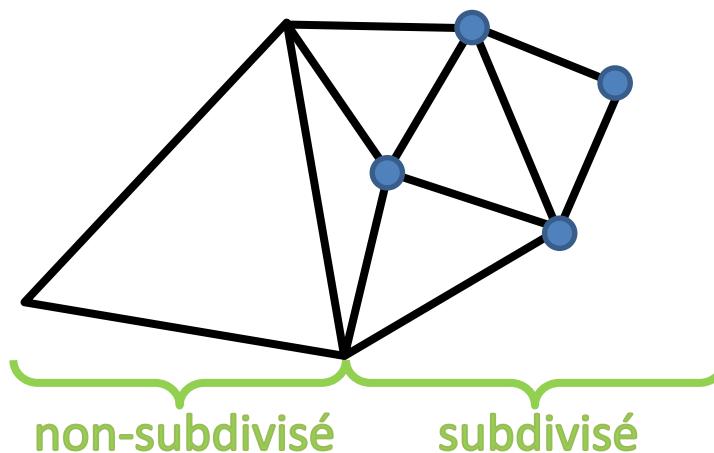
# Subdivision adaptative

- Difficultés de la subdivision adaptative :



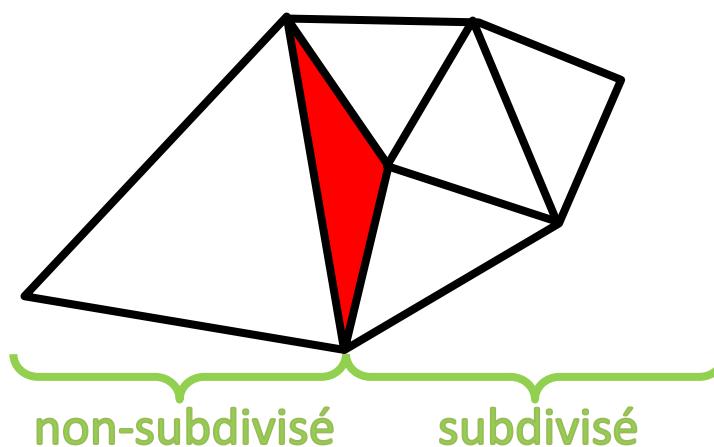
# Subdivision adaptative

- Difficultés de la subdivision adaptative :



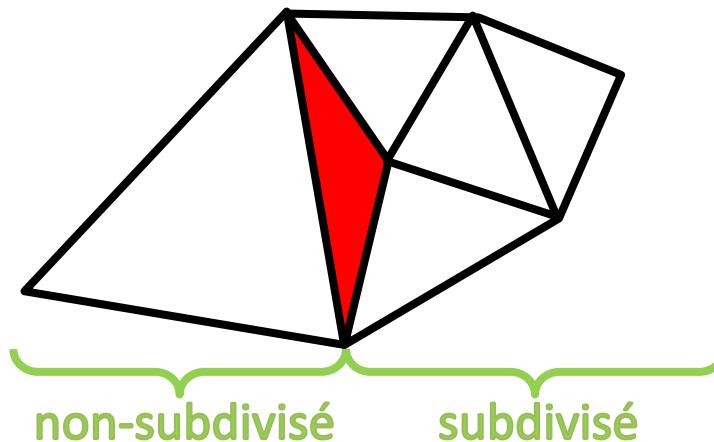
# Subdivision adaptative

- Difficultés de la subdivision adaptative :



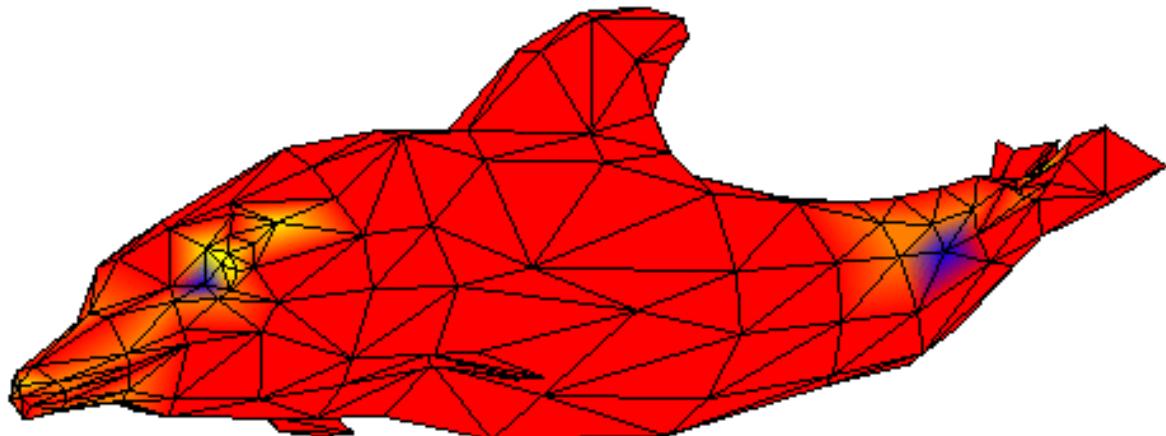
# Subdivision adaptative

- Difficultés de la subdivision adaptative :
  - faire attention au frontière entre zones subdivisées et zones non-subdivisées,
  - éviter les trous,
  - générer un “petit” nombre de triangles.



# Subdivision adaptative

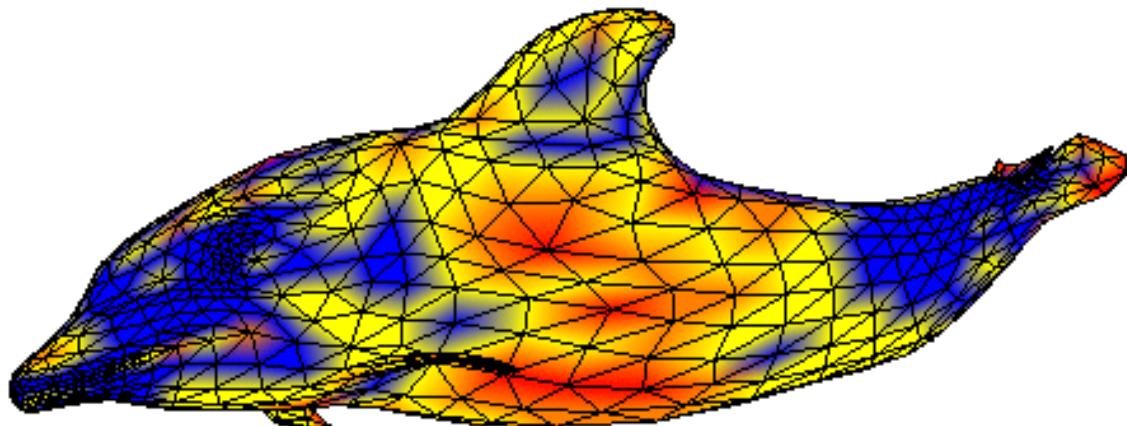
- Exemple d'utilisation:
  - on identifie les zones à subdivision en fonction de la taille des triangles,
  - on subdivise les zones ayant des ``gros'' triangles.



468 triangles

# Subdivision adaptative

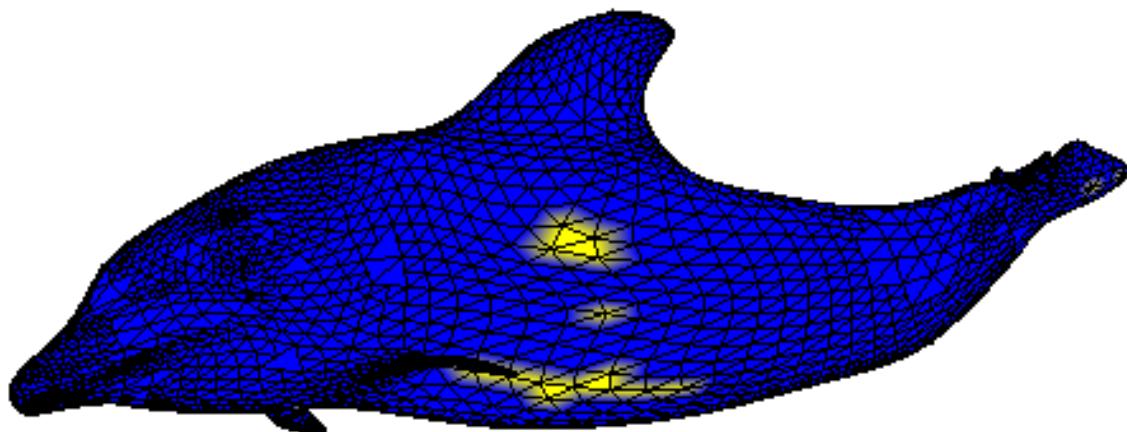
- Exemple d'utilisation:
  - on identifie les zones à subdivision en fonction de la taille des triangles,
  - on subdivise les zones ayant des “gros” triangles.



1 692 triangles

# Subdivision adaptative

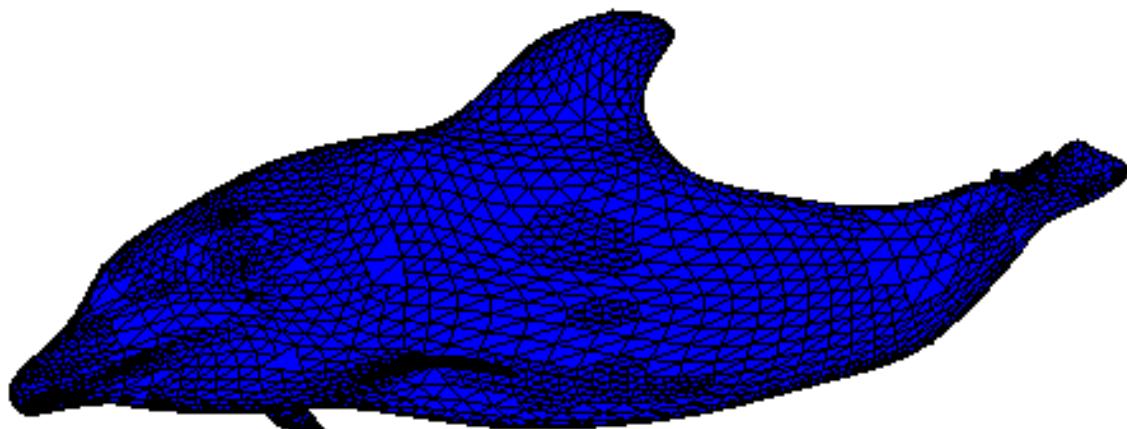
- Exemple d'utilisation:
  - on identifie les zones à subdivision en fonction de la taille des triangles,
  - on subdivise les zones ayant des ``gros'' triangles.



5 022 triangles

# Subdivision adaptative

- Exemple d'utilisation:
  - on identifie les zones à subdivision en fonction de la taille des triangles,
  - on subdivise les zones ayant des ``gros'' triangles.



5 133 triangles

# Conclusion : Simplification

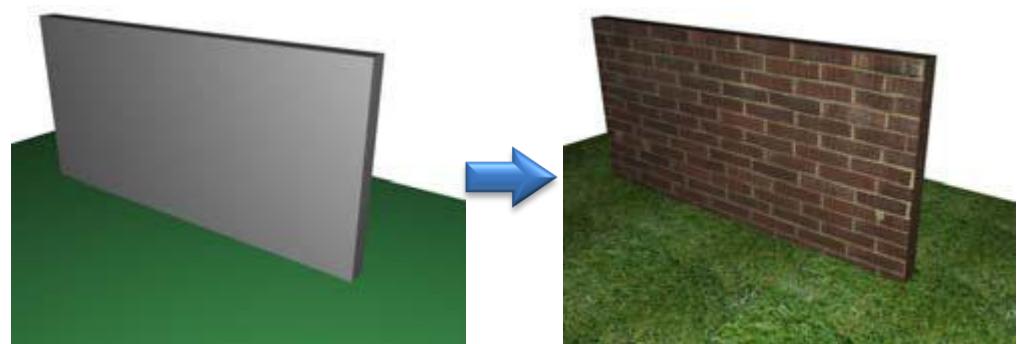
- Pour diminuer le nombre de triangle à afficher on utilise un LOD :
  - maillages avec différentes résolutions,
  - maillage pour la visualisation est choisi selon la position dans la scène.
- Plusieurs méthodes de simplification :
  - préservant la topologie
  - locale,
  - globale.
- Utiliser la distance entre surfaces pour trouver la bonne représentation

# Conclusion : Subdivision

- Afin de “lisser” l'affichage on peut rajouter des triangles en subdivisant le maillage :
  - utilisation d'un schéma de subdivision,
  - approximation ou interpolation selon le résultat souhaité.
- Possibilité d'adapter le degré de subdivision au maillage.

# FIN

Modélisation avancée  
lundi 20/04



Pour récupérer les cours et le TD/TP:  
<http://www.lirmm.fr/~beniere/Enseignements.php>

# Sources

- Cours utilisés pour ce support :
  - Gilles Gesquière (Gamagora, LIRIS, Lyon)
  - Loïc Barthe (IRIT-UPS, Toulouse)
  - Sandrine Lanquetin (Université de Bourgogne)