



# Synthèse d'images animées

Application à la sculpture virtuelle et à la  
représentation 3D de données de l'IGN

Gilles Gesquière  
Laboratoire LSIS  
Gilles.Gesquiere@up.univ-mrs.fr



# Synthèse d'images animées

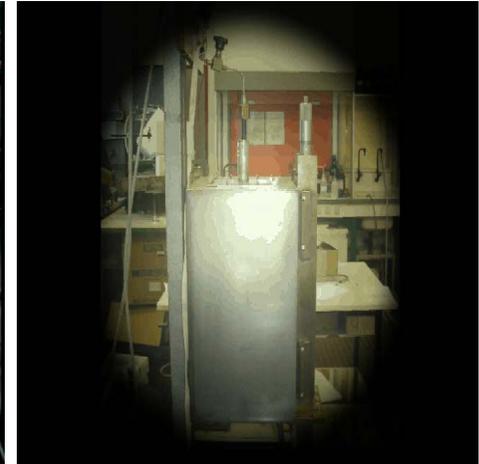
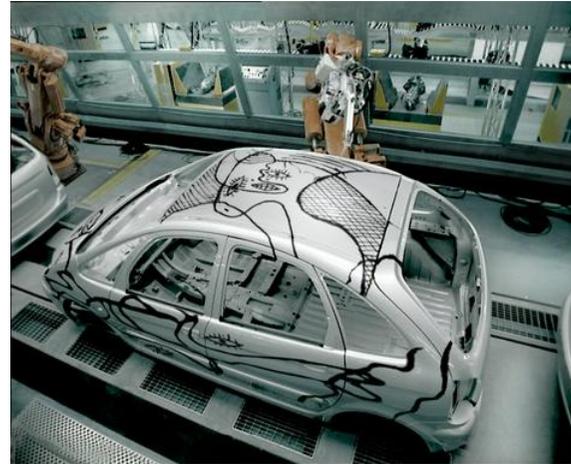
Partie I – Introduction

Partie II – Modéliser

Partie III - Texturer

# Introduction

- **audiovisuel**
- effets spéciaux
- jeux vidéo
- études d'impact
- simulateurs
- visualisation scientifique



# [ Introduction ]

- **Audiovisuel**

- **Effets invisibles**

- Effets discrets, au service de l'image réelle (modification du décor, ...)

- **Effets visibles**

- Éléments synthétiques « voyants », mis en avant (vaisseau spatial, dinosaure, etc.)
- Films intégralement en images de synthèse.

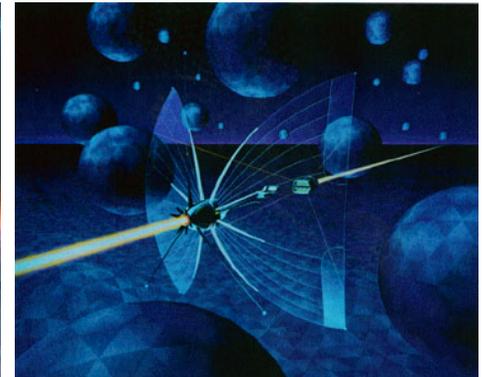
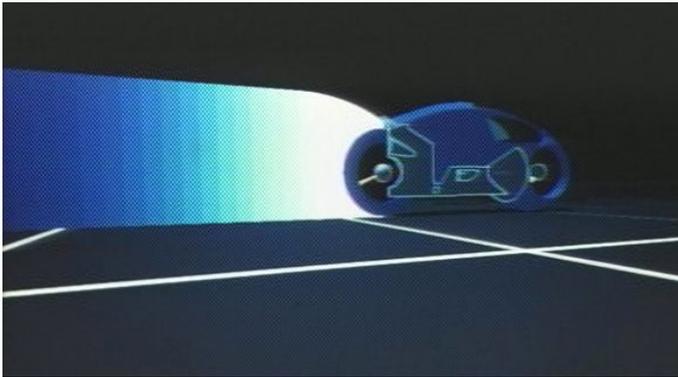


Evian : <http://www.macguff.fr/>

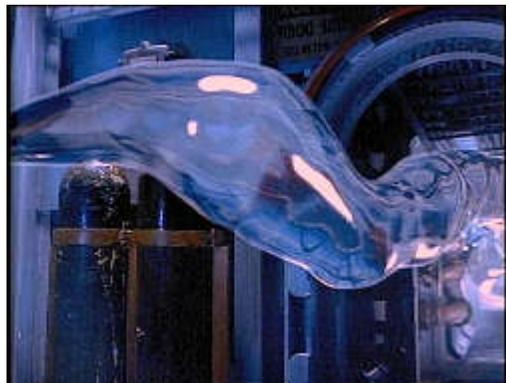
# [ Introduction ]

## ■ audiovisuel

### Tron (1982)



### Abyss (1989)



01/06/2005

# Introduction

- **Audiovisuel**
  - **Terminator 2 (1990)**



- **Jurassic Park (1993)**



# [ Introduction ]

- **Audiovisuel**
  - **Forrest Gump (1994)**



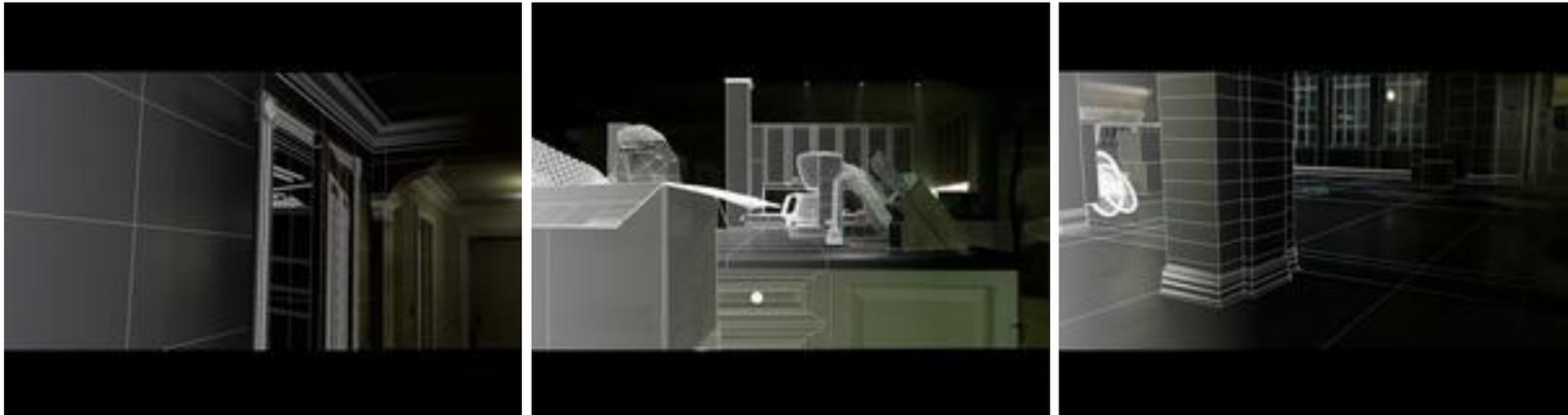
- **Final Fantasy (2001)**



# [ Introduction ]

## ■ Audiovisuel

- Plans « impossibles »
  - Permet par des reconstitutions 3D d'une scène réelle de faire suivre à la caméra des trajectoires impossibles dans la réalité (*Fight club*, ...)
  - Des photos du décor réel sont plaquées sur une reconstitution 3D de ce décor (pièces, mobilier, accessoires). N'importe quels mouvements de caméra dans cette représentation 3D sont alors possibles.



# Introduction

- **Audiovisuel**
  - **Mélange dessin animé traditionnel / synthèse**
    - Disney (*Tarzan*, *Mulan*, etc.), Dreamworks (*Shrek*)



# [ Introduction ]

- audiovisuel
- **effets spéciaux**
- jeux vidéos
- études d 'impact
- simulateurs
- visualisation scientifique



# [ Introduction ]

- audiovisuel
- effets spéciaux
- **jeux vidéos**
- études d'impact
- simulateurs
- visualisation scientifique

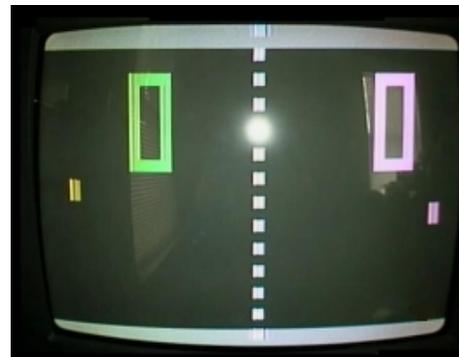


Agence Callegari-Bewille pour SEAT. Végétation GENESIS, rendu MAYA.

# [ Introduction ]

## ■ jeux vidéos

- **1958** : 1er jeu vidéo : *Tennis Programming*, inventé par le chercheur et physicien Willy Higinbotham. L'affichage se fait sur un écran d'oscilloscope.
- **1972** : 1er grand succès : *Pong*, inventé par Nolan Bushnell, fondateur de la société *Atari*



# Introduction

- **jeux vidéo**

- **2D** Technique ancienne, maintenant peu utilisée sauf sur les consoles portables (moins coûteux en puissance de calcul que de la 3D).



# [ Introduction ]

- **jeux vidéo**

- L'affichage se compose d'éléments mobiles comme les personnages (« *sprites* ») et d'un décor souvent constitué par un assemblage de petits blocs (« *tiles* ») de tailles identiques (16x16, 32x32, etc.)



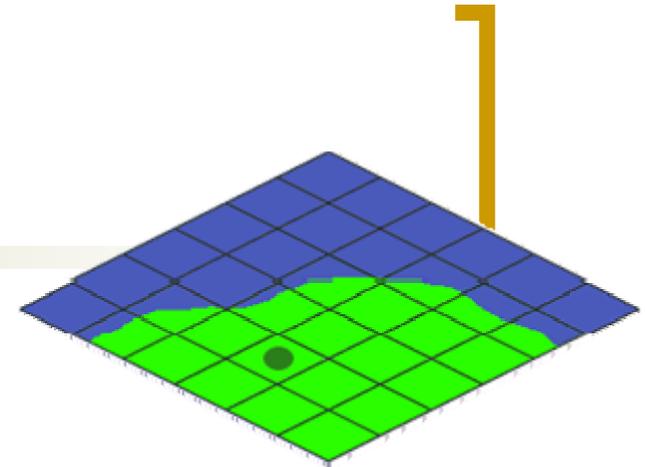
*Sprites*



*Tiles*



# [ Introduction



- **jeux vidéos**

Il s'agit en fait de 2D. Des blocs d'image tournés et vus de dessus sont mis bout à bout.

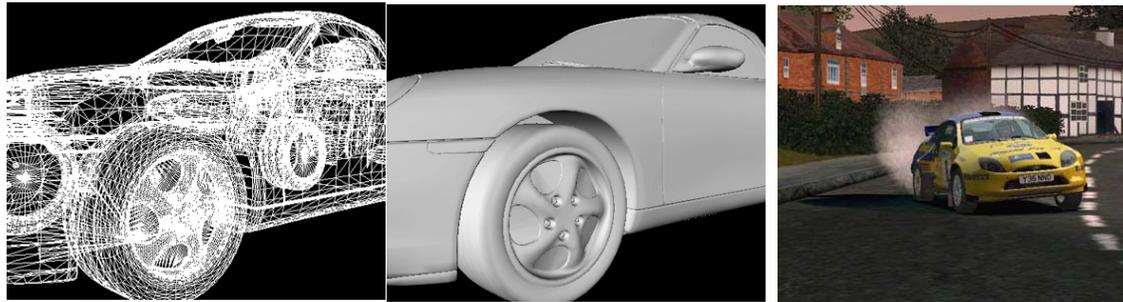
Ex: *Zaxxon, Populous, Sonic 3D, Sudden Strike, Civilization, ...*



# [ Introduction ]

- **jeux vidéos**

- **3D** : La grande majorité des jeux actuels sont en 3D.



*Half Life (1998)*

*Half Life 2 (2004)*



*Tomb Raider 6 (2003)*

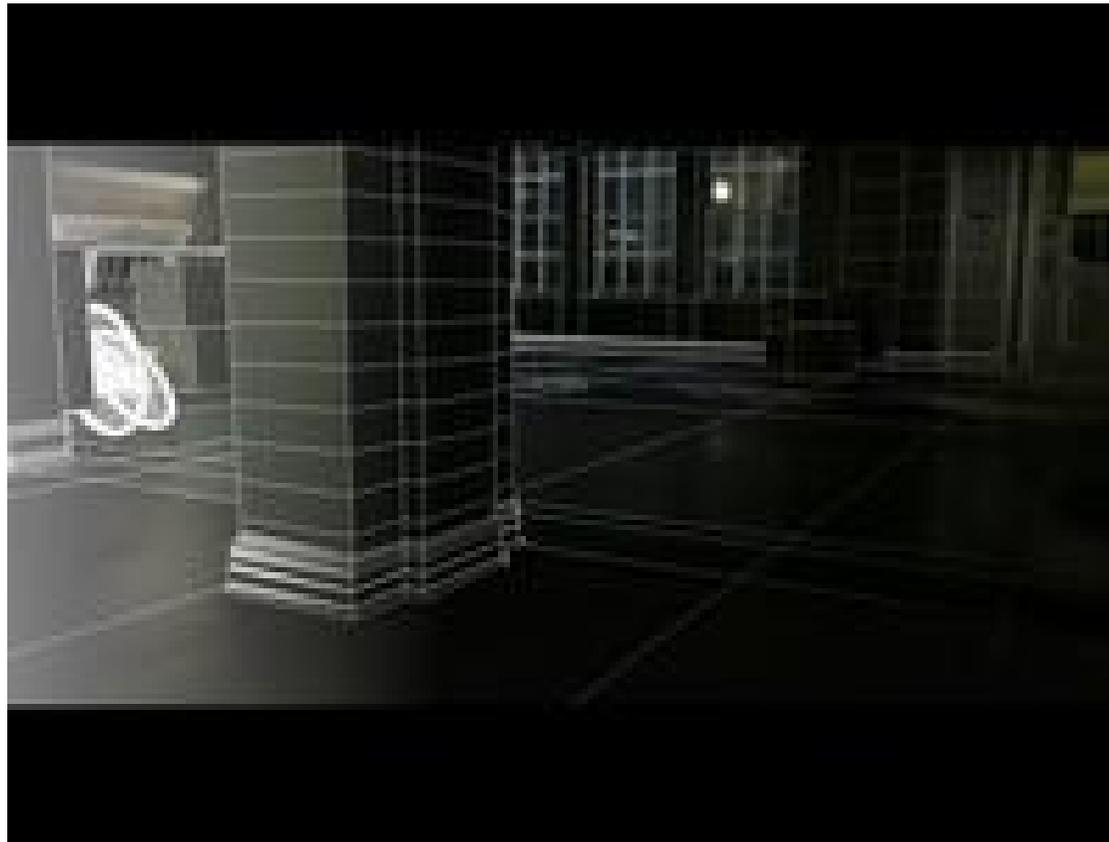
# [ Introduction ]

- audiovisuel
- effets spéciaux
- jeux vidéos
- **études d'impact**
- simulateurs
- visualisation scientifique



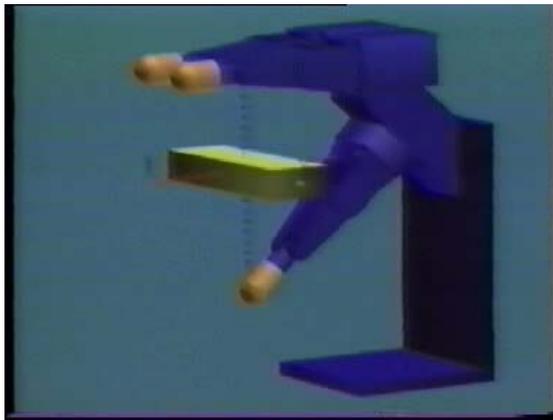
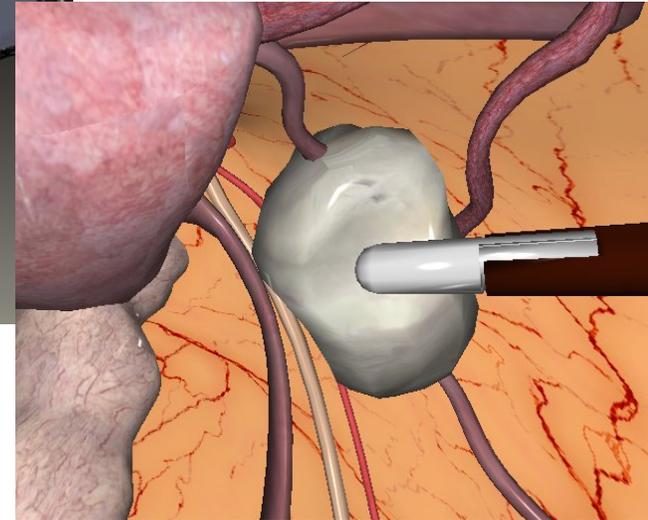
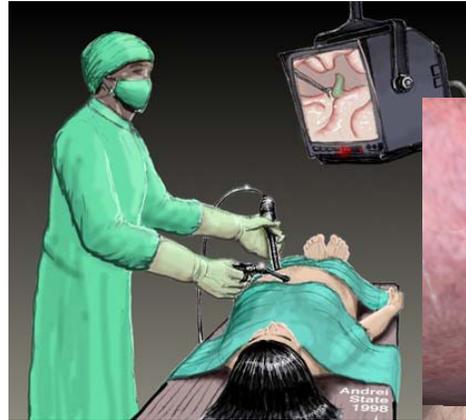
# [ Introduction ]

- **études d'impact**
  - Naviguer dans des environnements virtuels



# [ Introduction ]

- audiovisuel
- effets spéciaux
- jeux vidéos
- études d'impact
- **simulateurs**
- visualisation scientifique



# Introduction

- **simulateurs**



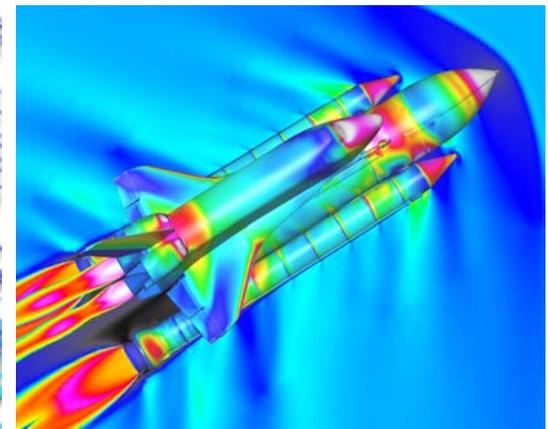
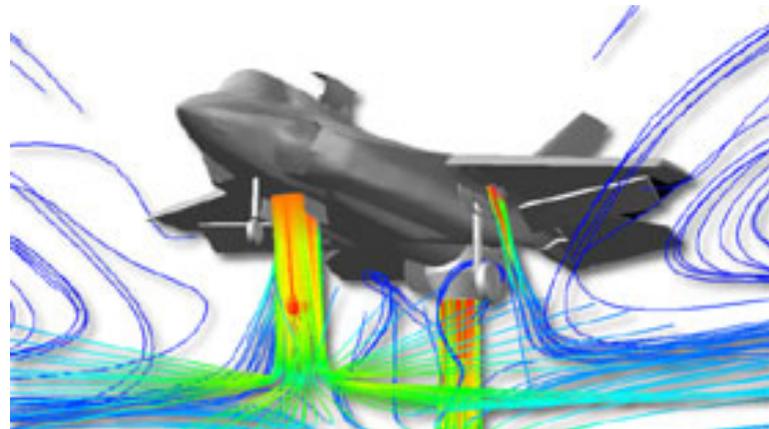
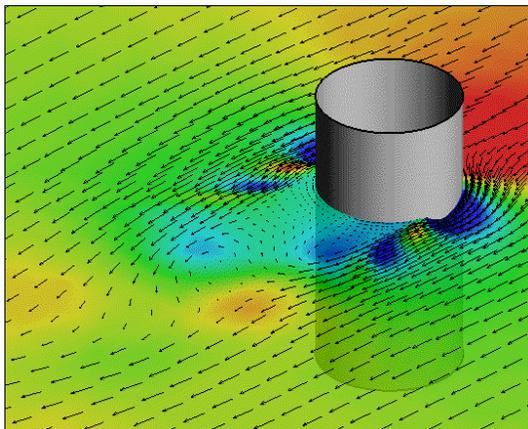
[http://helimat.free.fr/5\\_Helisim-EC155.htm](http://helimat.free.fr/5_Helisim-EC155.htm)

01/06/2005

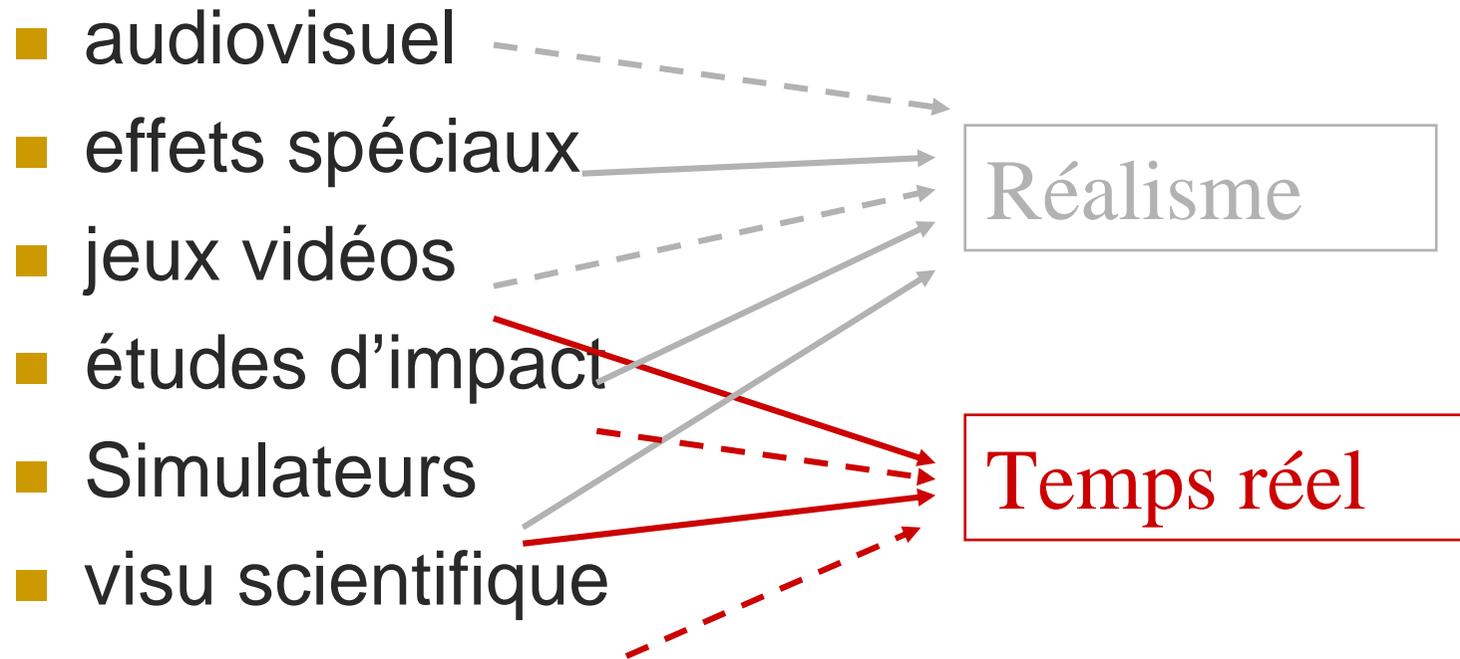


# [ Introduction ]

- audiovisuel
- effets spéciaux
- jeux vidéos
- études d'impact
- simulateurs
- **visualisation scientifique**

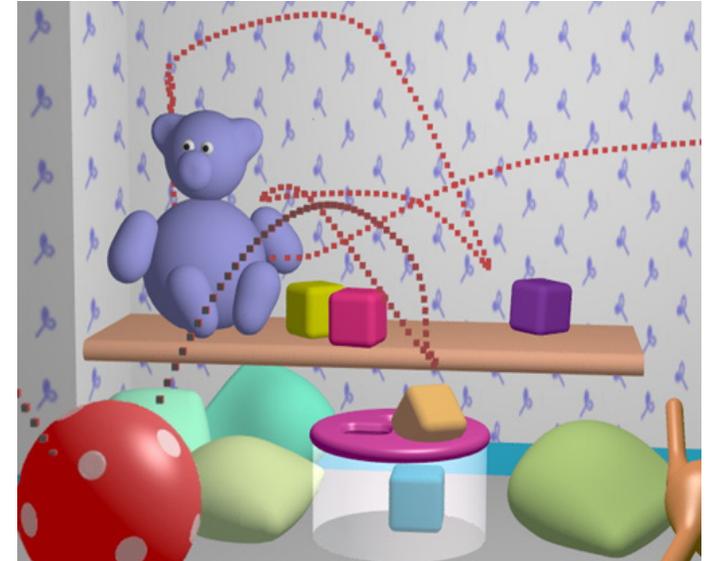


# [ Introduction ]



# [ Plan ]

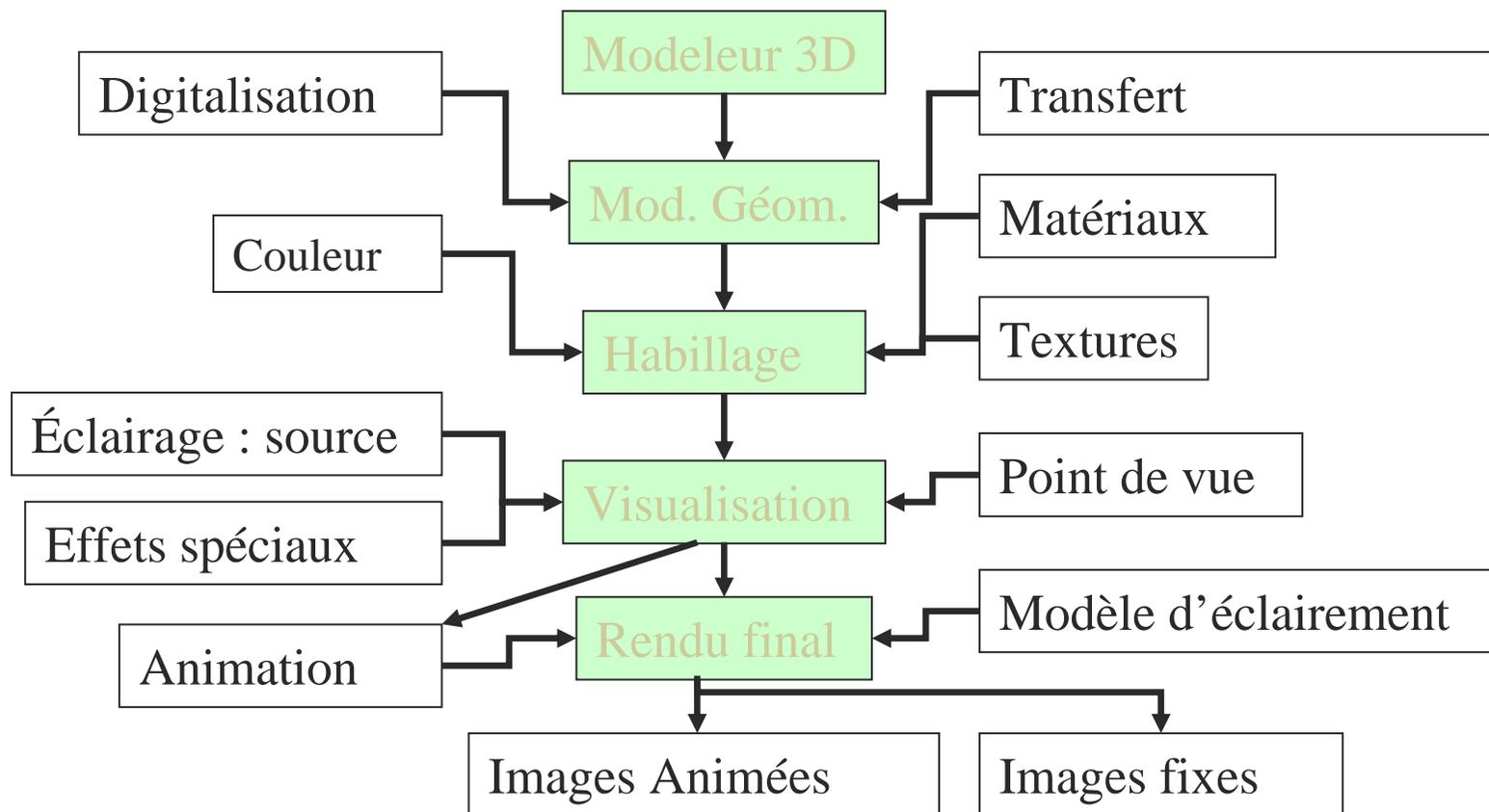
- Présentation des concepts fondamentaux
  - Modélisation
    - Objets, scène
    - Comment représenter les objets ?
    - Comment construire cette représentation ?
  - Animation
    - spécifier ou calculer mouvements et déformations
  - Visualisation
    - à partir des objets, matières, éclairages, caméras...



<http://www-evasion.imag.fr/>

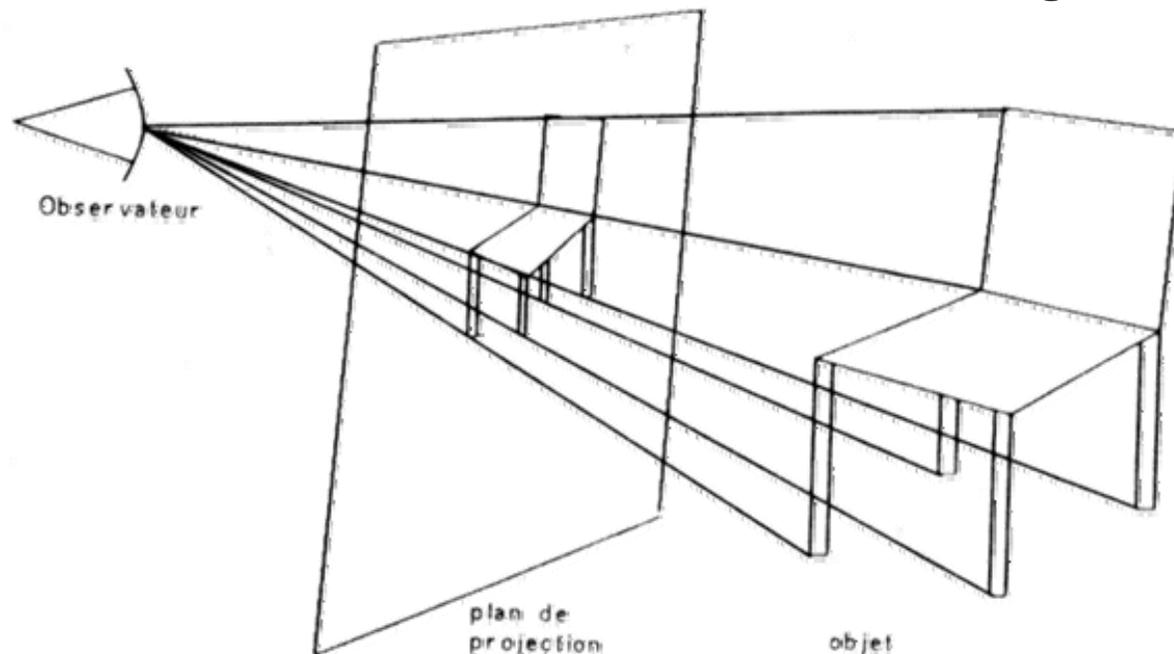
- Etude de deux exemples :
  - Visualisation de grandes masses de données surfaciques texturées
  - Mise en place d'un environnement de sculpture interactif

# [ Bilan ]



# [ Modélisation ]

- Visualisation d'une image toujours en 2D (sur écran).
- Le contenu peut être conçu en deux ou trois dimensions.
- Une image de synthèse n'est donc pas seulement une image, c'est aussi un ***modèle construit à l'aide d'algorithmes.***



# [ Modélisation ]

- **Modèle :**

Assure le passage de l'objet externe (hors ordinateur) à sa représentation interne dans l'ordinateur.

- **Qualité d'un modèle = Sa capacité à :**

- représenter le plus fidèlement possible l'objet réel
- à intégrer les contraintes diverses liées à l'objet

- **Repère :**

Points de définition calculés dans un repère 3D : Repère global, repère local, système de coordonnées (cartésiennes, cylindriques, sphériques, ...)



# Partie II- Modélisation

1. Techniques de modélisation
2. Modélisation surfacique
3. Modélisation volumique



# Partie II- Modélisation

- 1. Techniques de modélisation**
2. Modélisation surfacique
3. Modélisation volumique

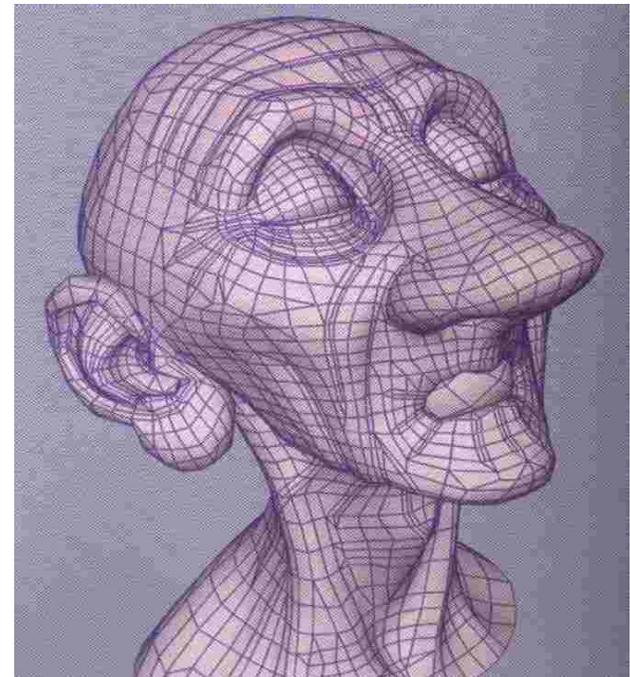
# [ 1. Techniques de modélisation ]

Notion de « modèle géométrique »

- Modèle mathématique de l'objet virtuel (équation de sa surface)

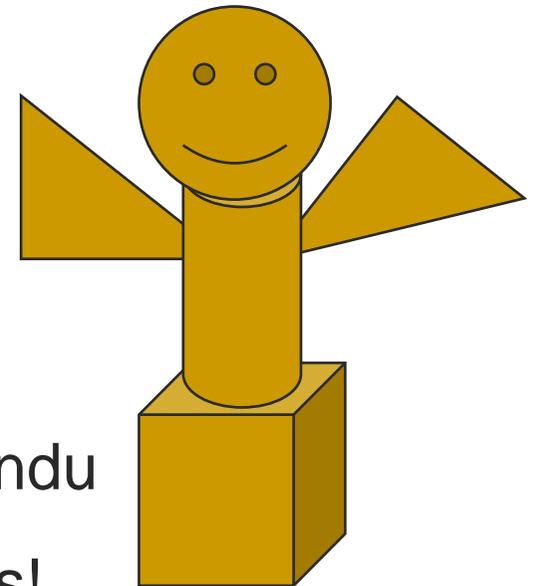
Comment créer ce modèle ?

- Qu'il s'affiche vite ?
- Qu'il n'occupe pas trop de mémoire ?
- Qu'on puisse facilement le modifier ?



# Programmation graphique (OpenGL, Direct X, ...)

- Utilisation des primitives simples
  - Sphères, cubes, cylindres, triangles...
    - Primitives paramétrés (dimensions, etc)
    - Munies de repères locaux
- Construction par assemblage
- Conversion en facettes planes pour le rendu
- Fastidieux, et les formes sont vite limitées!



# [ Fichier de description ]

- Liste des points et des facettes
- Nombre de facettes à créer
  - Objet de base : 12,
  - tasse : 100,
  - Personnage : 8 000,
  - forêt : 5 000 000



Impossible de les définir et modifier une à une!

# [ Techniques de modélisation ]

## 1. *Modélisation interactive*

- offrir du pouvoir expressif à l'infographiste

## 2. *Modélisation procédurale*

- automatiser la création d'une scène complexe répétitive

## 3. *Reconstruction*

- à partir d'un objet réel

# [ Modélisation Interactive ]

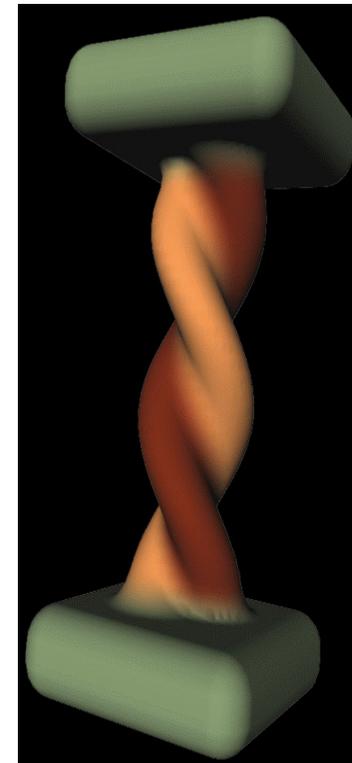
Objectif : Créer des formes libres

Méthode « légo »

- Créer des primitives
- Les déformer, localement ou globalement
- Les assembler

Logiciels « modeleurs »

Fonctionnalités selon la  
représentation des  
surfaces



# [ 2. Modélisation procédurale ]

- Primitives géométriques créées par une procédure
  - Croissance progressive
  - Placement procédural
- Utile pour objets complexes et répétitifs  
ex : plante, paysage, ville  
« règles de construction »

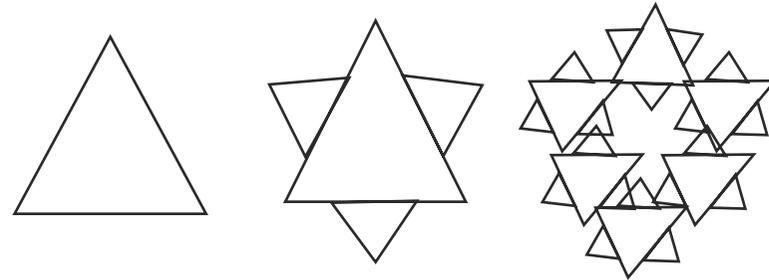


# [ 2. Modélisation procédurale ]

- Exemple 1 :

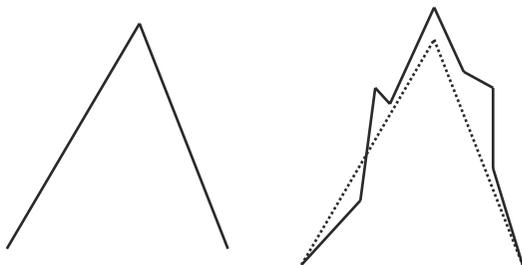
- Fractales

- Ajout récursif de détails

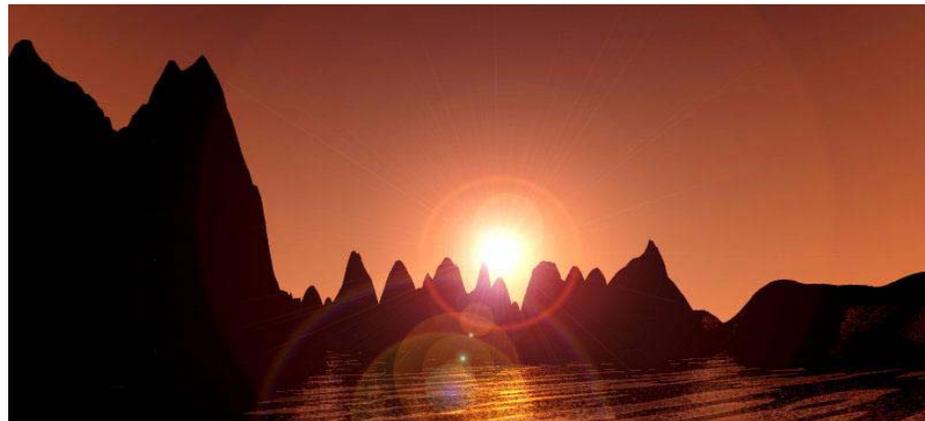


- Terrain fractales

- Déplacement aléatoire à chaque étape

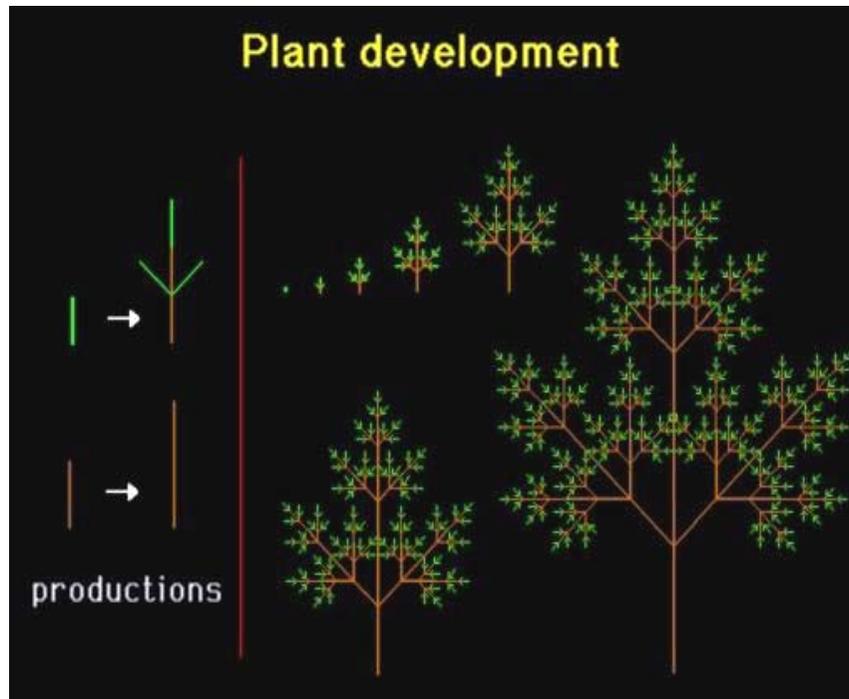


01/06/2005



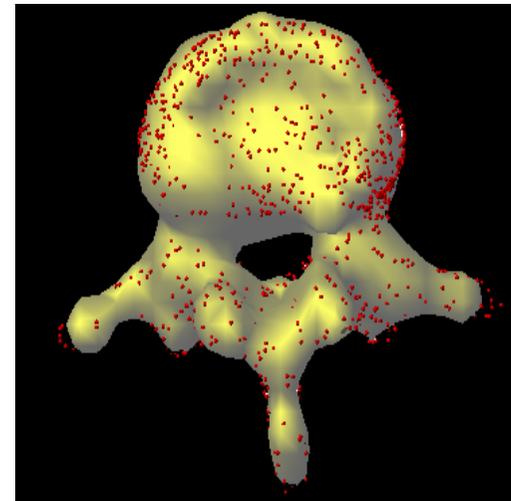
# [ 2. Modélisation procédurale ]

- Exemple 2 :
  - Plantes : L-systèmes
    - Grammaire régissant la croissance



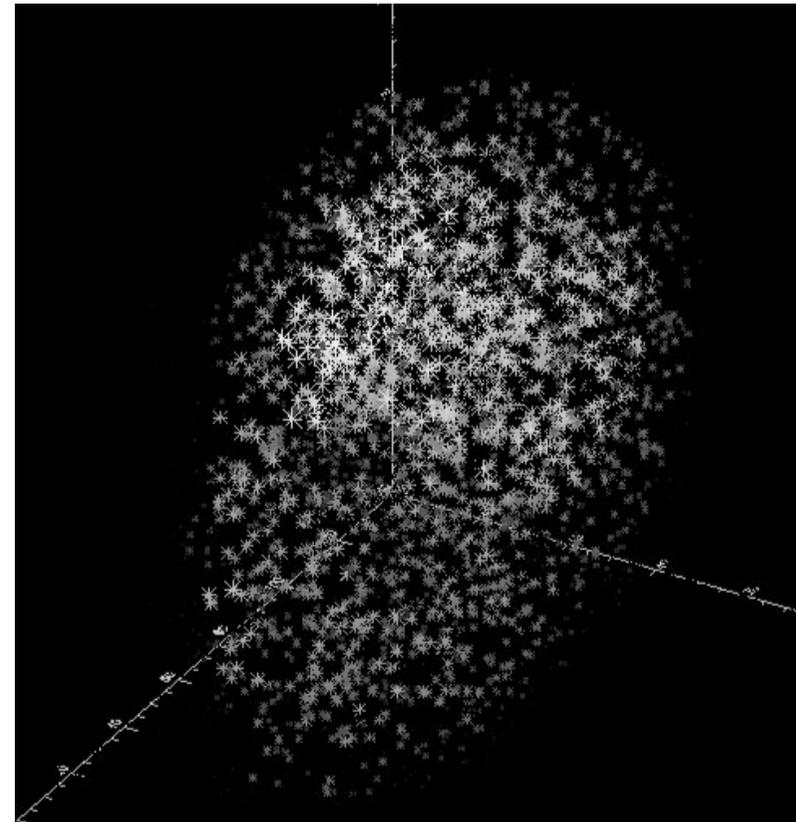
# [ 3. Reconstruction ]

- Acquisition d'un objet réel
  - Digitalisation manuelle  
(modèle en plâtre ou glaise)
  - Scanner laser  
(ex: visage personne réelle)
  - Scanner à résonance magnétique  
(organes)
  - Photos (modèles architecturaux)



# [ 3. Reconstruction ]

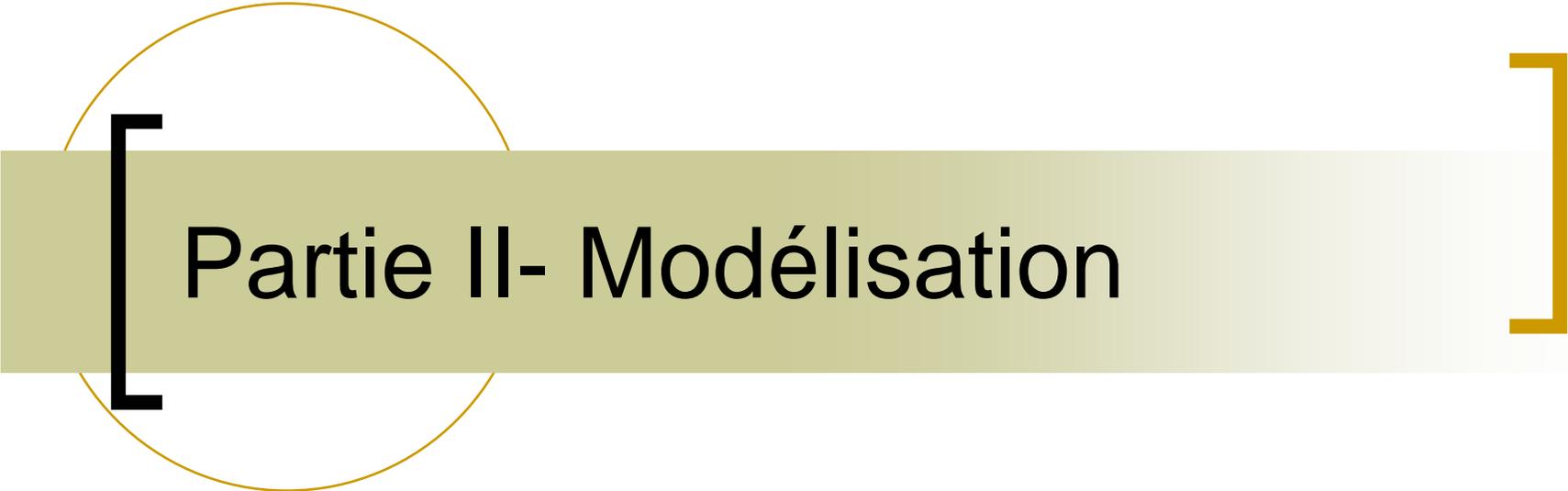
- Difficultés
  - Grands volumes de données, parfois bruitées
    - Nuages de points non structurés
    - Points formant des tranches
    - Données volumiques
  - Conversion en une représentation
    - permettant un stockage compact
    - une visualisation de qualité
    - l'édition interactive



# [Techniques de modélisation]

- Conclusion : Comment représenter la géométrie ?
  - Représentations par bord / surfaciques / paramétriques
    - Polygones (surfaces discrètes)
    - Surfaces splines
    - Surfaces de subdivision, surfaces multi-résolution
  - Représentations volumiques / implicites
    - Voxels (volumes discrets)
    - CSG (Constructive Solid Geometry)
    - Surfaces implicites
    - Représentation multi- échelle

*Adapter le choix aux besoins de l'animation et du rendu !*



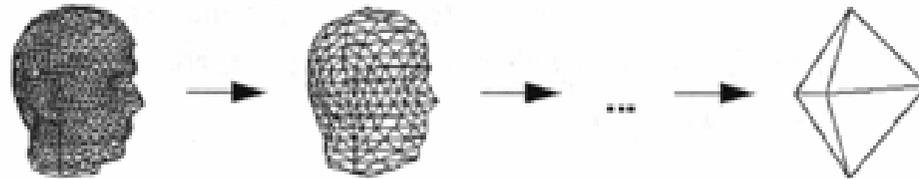
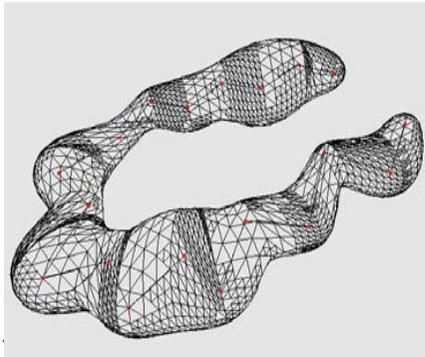
# Partie II- Modélisation

1. Techniques de modélisation
2. **Modélisation surfacique**
  - Représentations des surfaces
  - Surfaces de forme libre, déformations
  - Modélisation surfacique interactive
3. Modélisation volumique

# Représentations surfaciques

## 1. Polygones

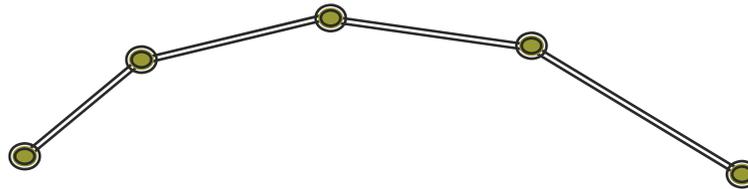
- Avantage : facilité de rendu
  - Les modeleurs permettent de les créer/modifier par groupes
- Mais il faut une représentation de plus haut niveau pour
  - Faire varier leur taille en fonction de la courbure
  - générer différents niveaux de détail (LODs)



# Représentations surfaciques

## 2. Surfaces paramétriques

- Rappels sur les courbes paramétriques
  - Approximation / interpolation
    - Polygones et polygones
      - ⇒ Approximation linéaire par morceaux (premier degré)



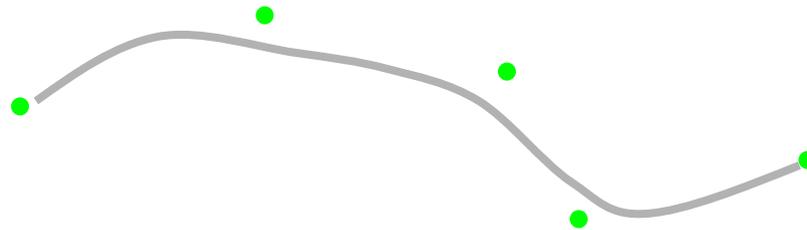
- ⇒ Nécessité d'utiliser beaucoup de points pour obtenir des formes lisses
- ⇒ Possibilité d'obtenir des formes plus lisses par approximation ou par interpolation

# Représentations surfaciques

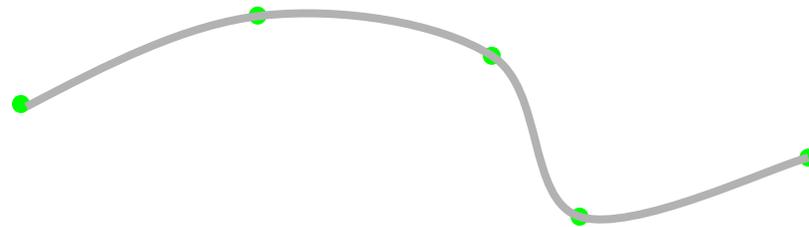
## 2. Surfaces paramétriques

- Rappels sur les courbes paramétriques

- Approximation :



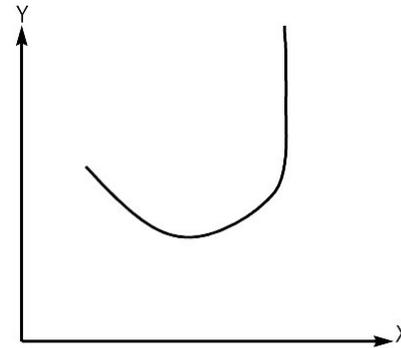
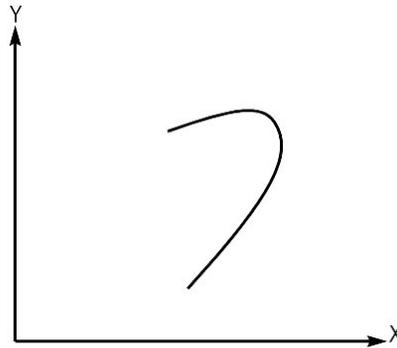
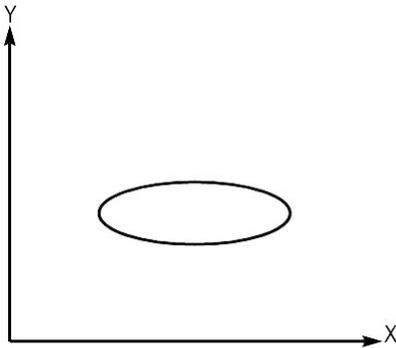
- Interpolation :



# Représentations surfaciques

## 2. Surfaces paramétriques

- Rappels sur les courbes paramétriques
  - Utiliser une représentation mathématique :  
 $Y=f(Z)$   
 $X=g(Z)$   
=> Formes possibles limitées



# Représentations surfaciques

## 2. Surfaces paramétriques

- Rappels sur les courbes paramétriques

- Utiliser une représentation paramétrique

$$\begin{cases} X=f(t) \\ Y=g(t) \\ Z=h(t) \end{cases}$$

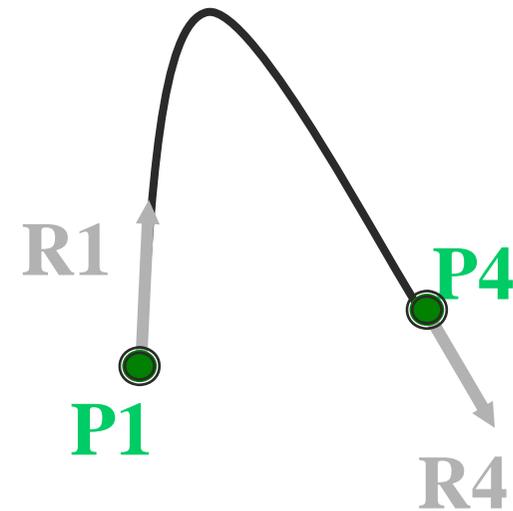
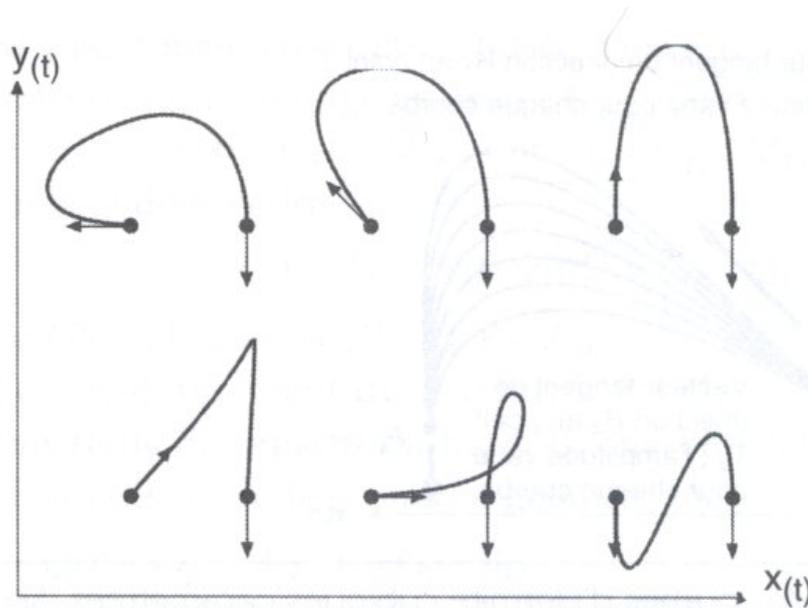
f, g et h sont des polynômes en t

- Exemple:  $h(t)=a t^3 + b t^2 + c t + d$
- Une courbe est approximée par une partie de courbe polynômiale

# Représentations surfaciques

## 2. Surfaces paramétriques

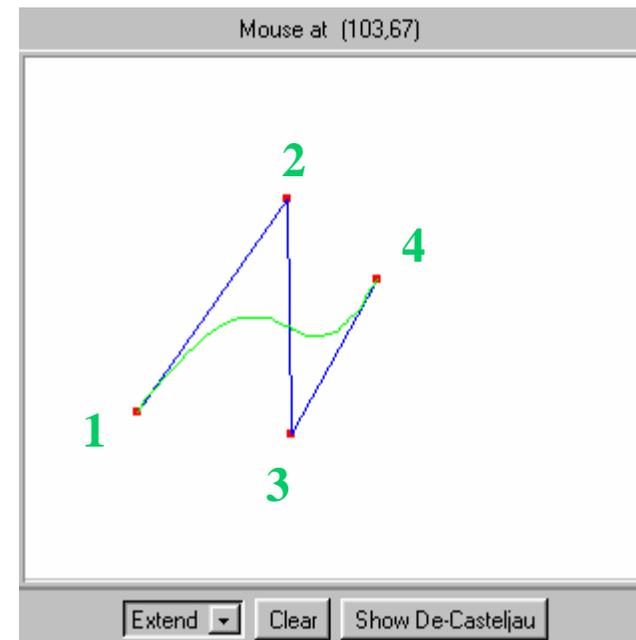
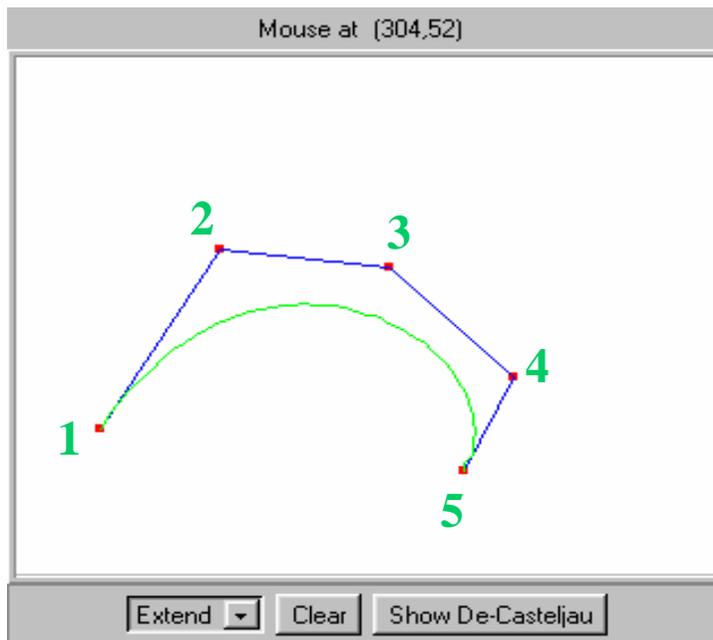
- Rappels sur les courbes paramétriques
  - Courbes hermitiennes
    - Déterminée par des contraintes aux points extrêmes P1 et P4 et les tangentes vectorielles R1 et R4 en ces points



# Représentations surfaciques

## 2. Surfaces paramétriques

- Rappels sur les courbes paramétriques
  - Courbes de Bézier

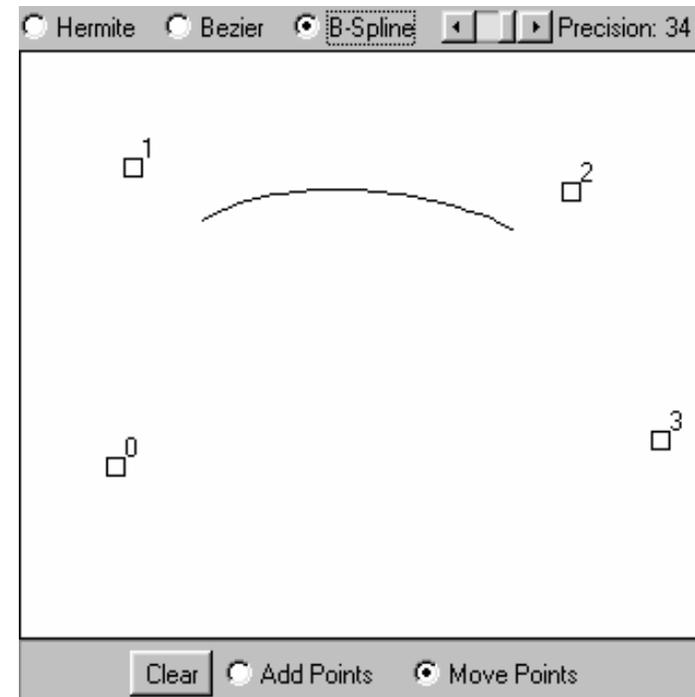


# Représentations surfaciques

## 2. Surfaces paramétriques

- Rappels sur les courbes paramétriques

- Les courbes Splines

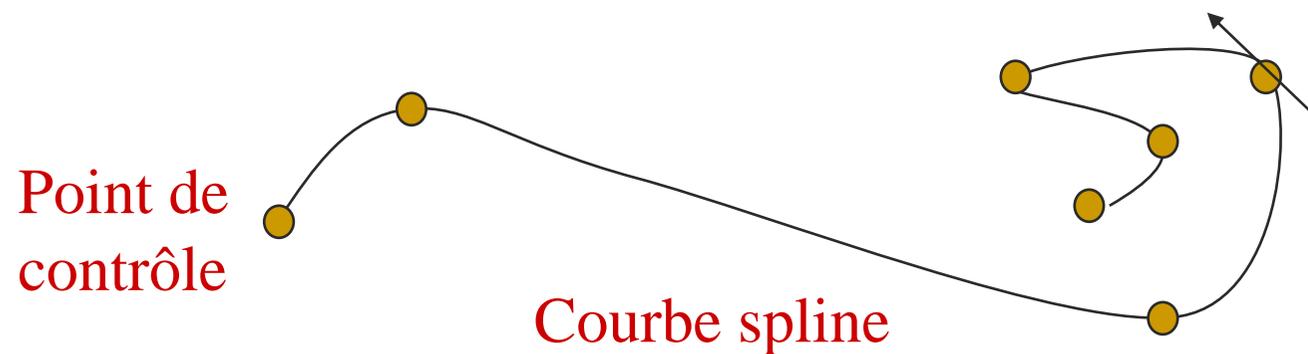


- Les Nurbs

# Représentations surfaciques

## 2. Surfaces paramétriques

- Rappels sur les courbes paramétriques (Splines)
  - définition à partir de points de contrôle
  - contrôle local
    - raccordements de segments de courbes polynomiaux
    - degré 3 et classe  $C^1$  ou  $C^2$  en général.



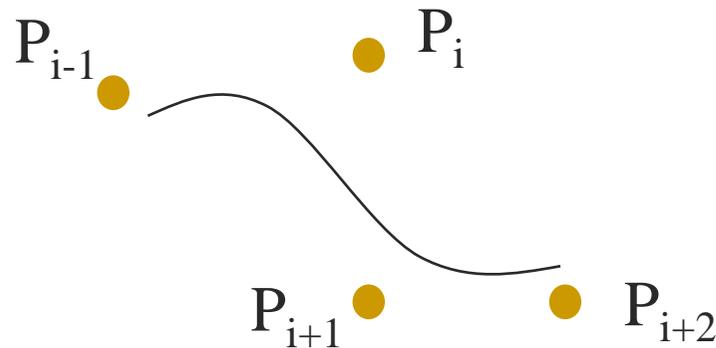
# Représentations surfaciques

## 2. Surfaces paramétriques

- Rappels sur les courbes paramétriques (Splines)
  - Segment de courbe

$$Q_i(t) = (t^3 \ t^2 \ t \ 1) M_{spline} [P_{i-1} \ P_i \ P_{i+1} \ P_{i+2}]^t$$

$$Q_i(t) = \sum B_i(t) P_i$$

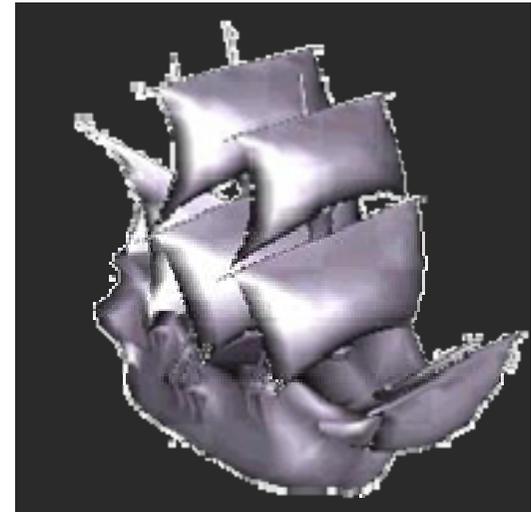
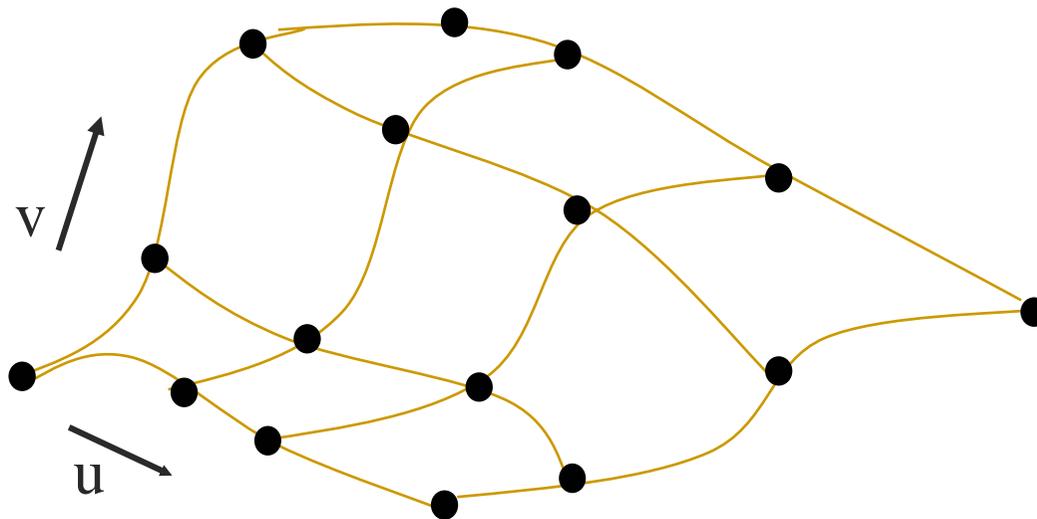


# Représentations surfaciques

## 2. Surfaces splines

- Carreau = produit de courbes splines en  $u$  et en  $v$

$$Q_{i,j}(u, v) = \sum B_i(u) B_j(v) P_{ij}$$

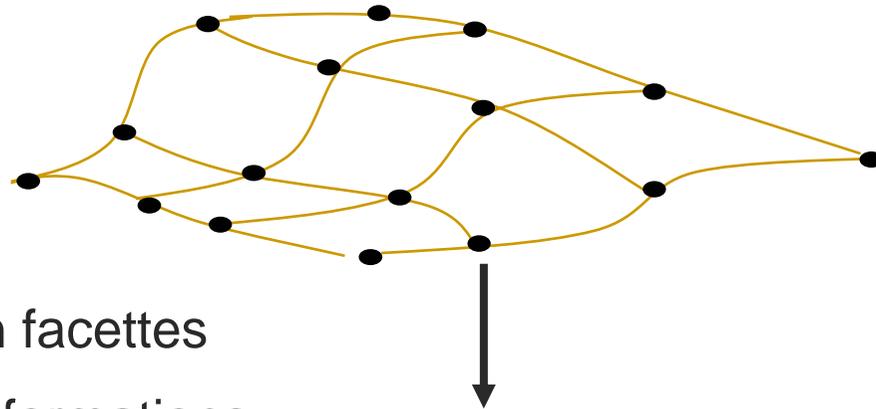


# Représentations surfaciques

## 2. Surfaces splines

- Produit de courbes splines en  $u$  et en  $v$

$$Q_{i,j}(u, v) = (u^3 \ u^2 \ u \ 1) M [P_{i,j}] M^t (v^3 \ v^2 \ v \ 1)$$

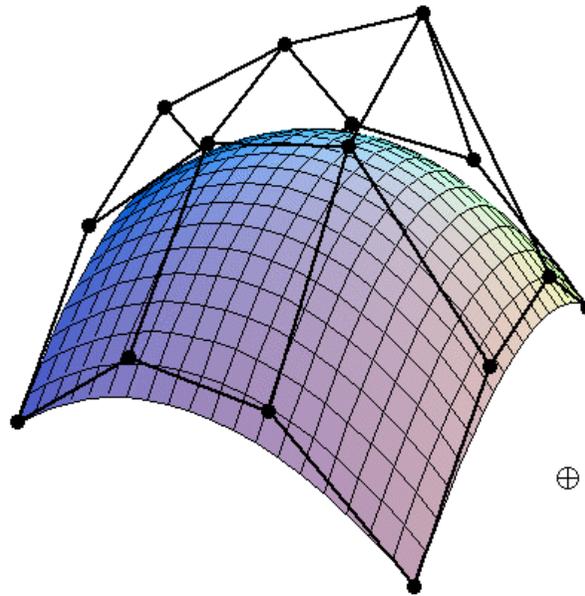


- Surfaces lisses
- Faciles à convertir en facettes
- Contrôle local des déformations

# Représentations surfaciques

## 2. Surfaces splines

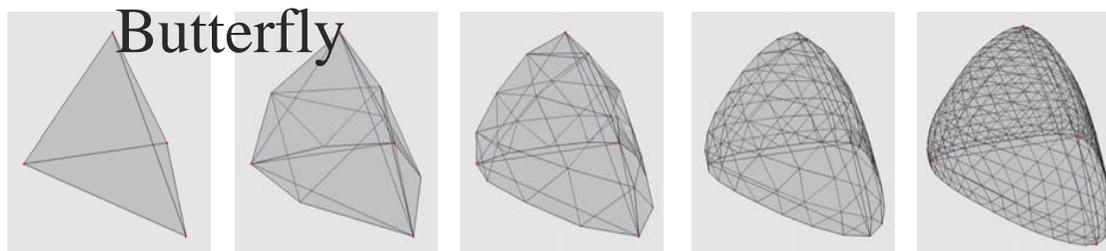
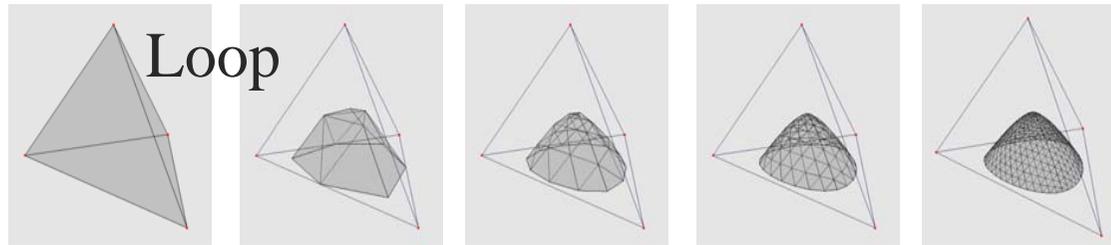
- Surface définie par un ensemble de points de contrôles
- Manipulation des points de contrôles afin de modifier la surface sous jacentes



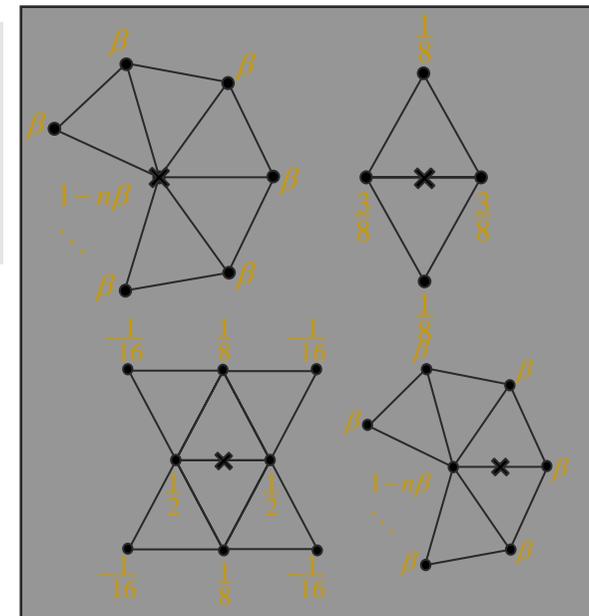
# Représentations surfaciques

## 3. Surfaces de subdivision

- Topologie définie à priori : maillage de contrôle
- Subdivision progressive (interpolation ou approximation)



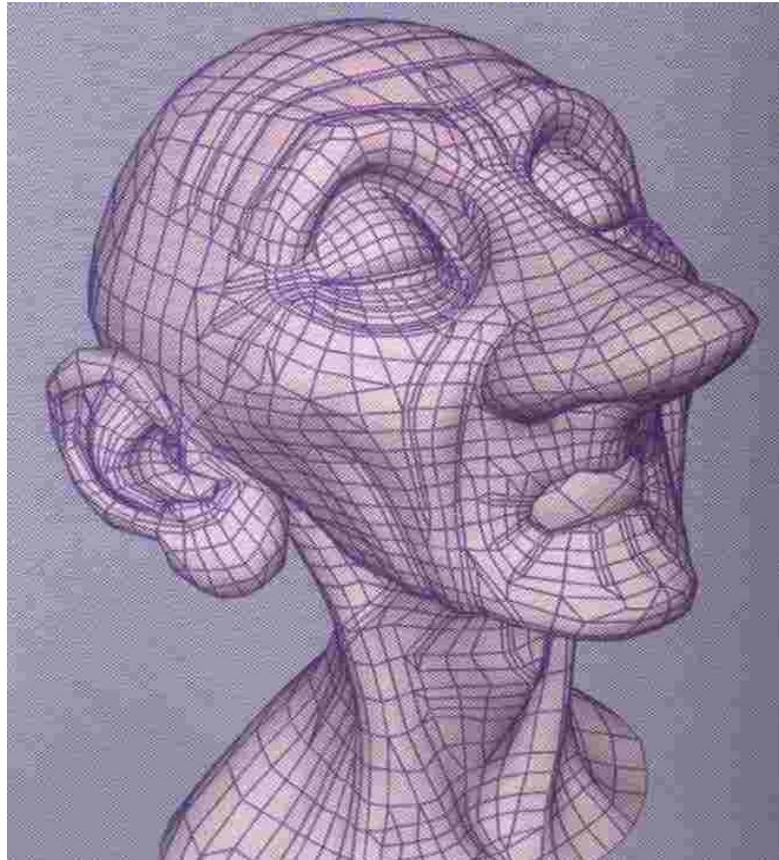
01/06/2005



# Représentations surfaciques

## 3. Surfaces de subdivision

*Approximations polygonales à plusieurs niveaux de détail*





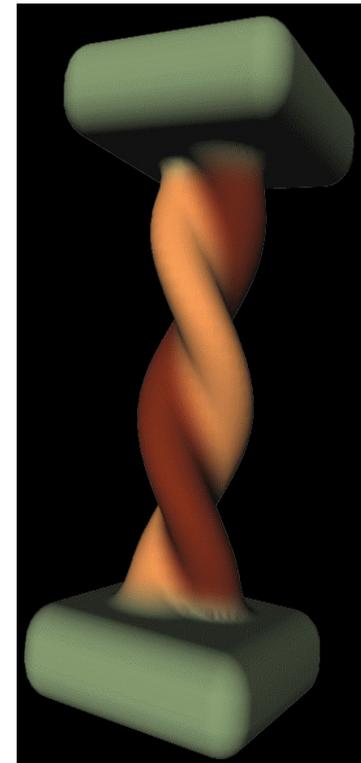
# Partie II- Modélisation

1. Techniques de modélisation
2. **Modélisation surfacique**
  - Représentations des surfaces
  - **Surfaces de forme libre, déformations**
  - Modélisation surfacique interactive
3. Modélisation volumique

# Surfaces de forme libre, déformations

Pour créer des formes libres

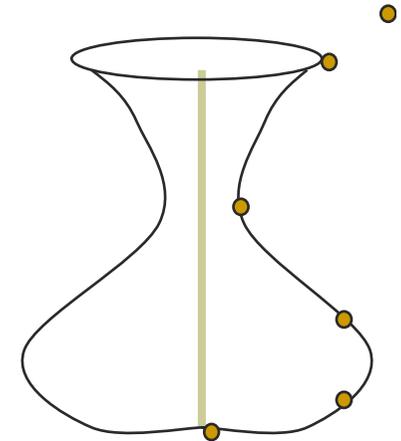
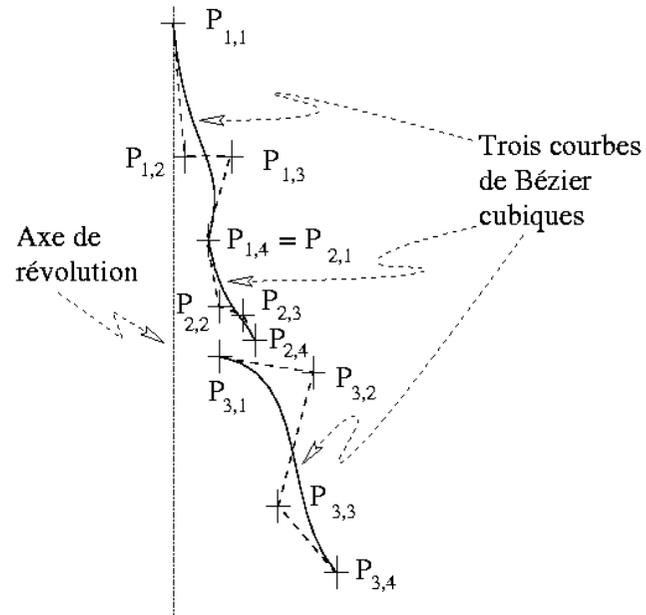
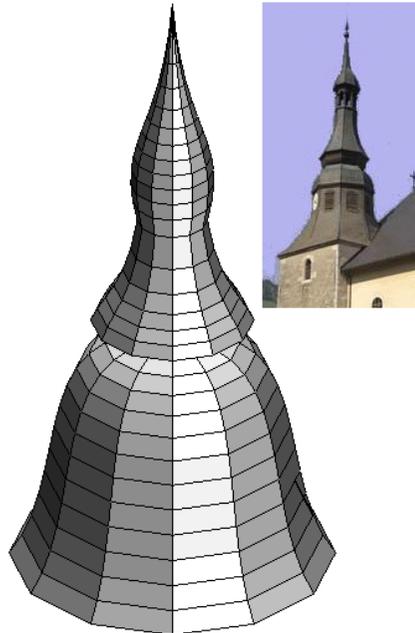
1. Primitives de base
2. Déformations locales et globales
3. Assemblage



# Surfaces de forme libre, déformations

- Surfaces de révolution
  - Rotation d'un profil plan autour d'un axe
    - Grille de points de contrôle

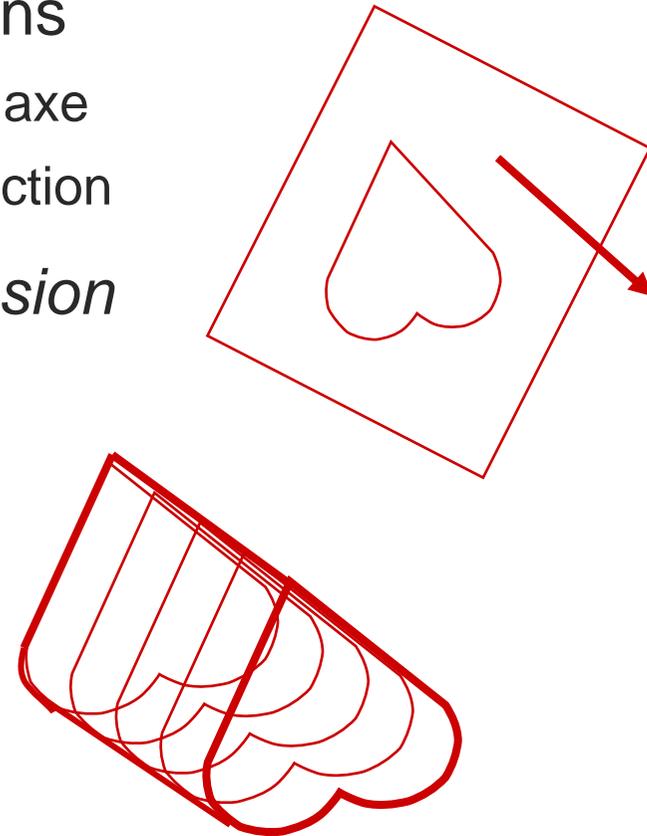
Église Notre-Dame de l'Assomption  
Bellevaux, Haute-Savoie.



# Surfaces de forme libre, déformations

- On crée l'objet à partir de sections
  - Données : une section plane et un axe
  - Grille de points en translatant la section

*Permet de monter d'une dimension*



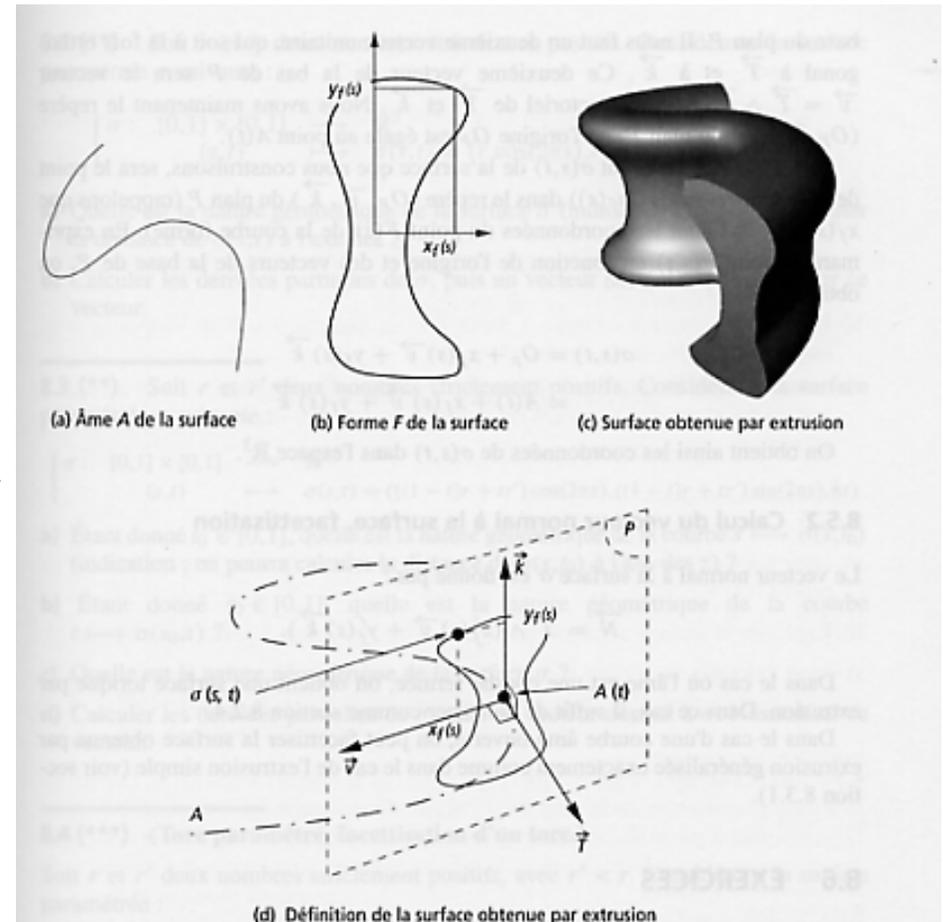
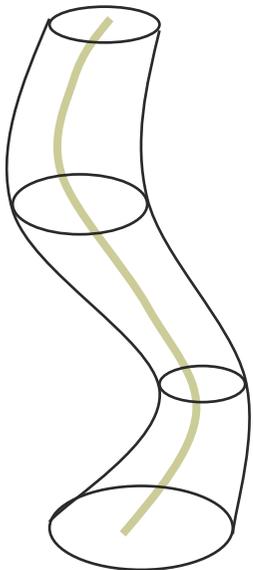
# Surfaces de forme libre, déformations

## ■ Extrusion

### ○ Données :

- une section plane,
- un squelette gauche,
- un profil plan

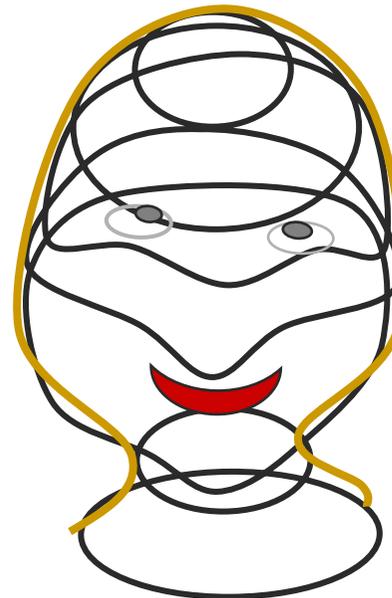
- La section est « promenée » le long du squelette (âme)
- Le profil sert de facteur d'échelle



# Surfaces de forme libre, déformations

## ■ Skinning

- Raccordement de contours plans
  - Subdivision si tous n'ont pas le même nombre de points
- Ex: terrain, visage...



# Modélisation surfacique

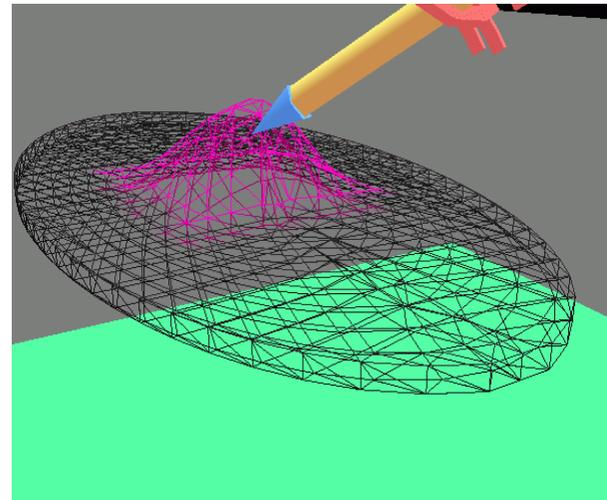
## Déformations locales

- Exemple de la « sculpture virtuelle »

Déformation interactive d'un modèle polygonal

- Tirer / pousser des groupes de sommets
- A partir
  - d'une sphère,
  - d'un objet digitalisé

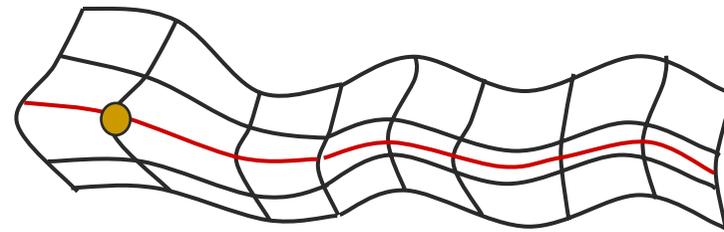
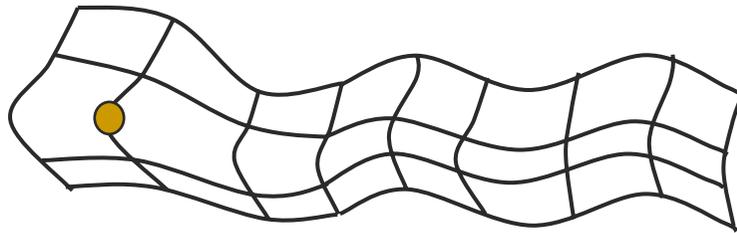
(topologie fixe)



# Modélisation surfacique

## Déformations locales

- Déformation des surfaces splines
  - Déplacer les points de contrôle : contrôle local
  - Problèmes
    - Ajout de détails
      - L'ajout de points se fait par lignes entières !



# Modélisation surfacique

## Contrôle de la localité des déformations

- Splines hiérarchiques

- But : contrôler la localité des déformations
- Arborescences de grilles de contrôle
- Représentation locale des points :  $P = G + O$ ,
  - $G = S_i(u_0, v_0)$  point surface parent le plus proche
  - $O$  vecteur d'offset
- On peut déformer à grande échelle en déplaçant les détails!

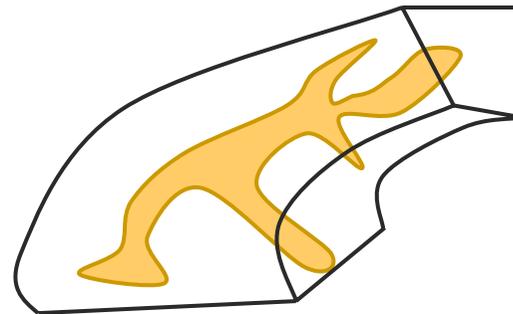
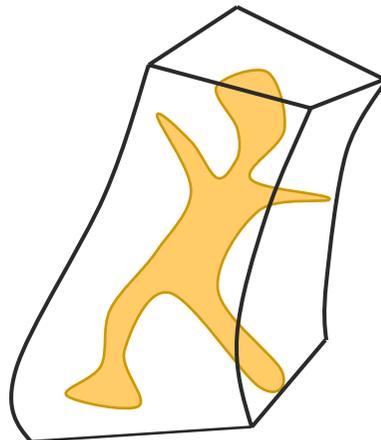
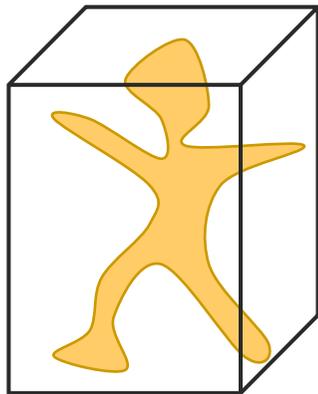
# Modélisation surfacique

## Déformations de grande échelle : FFD

- Plonger l'objet dans un volume spline 3D

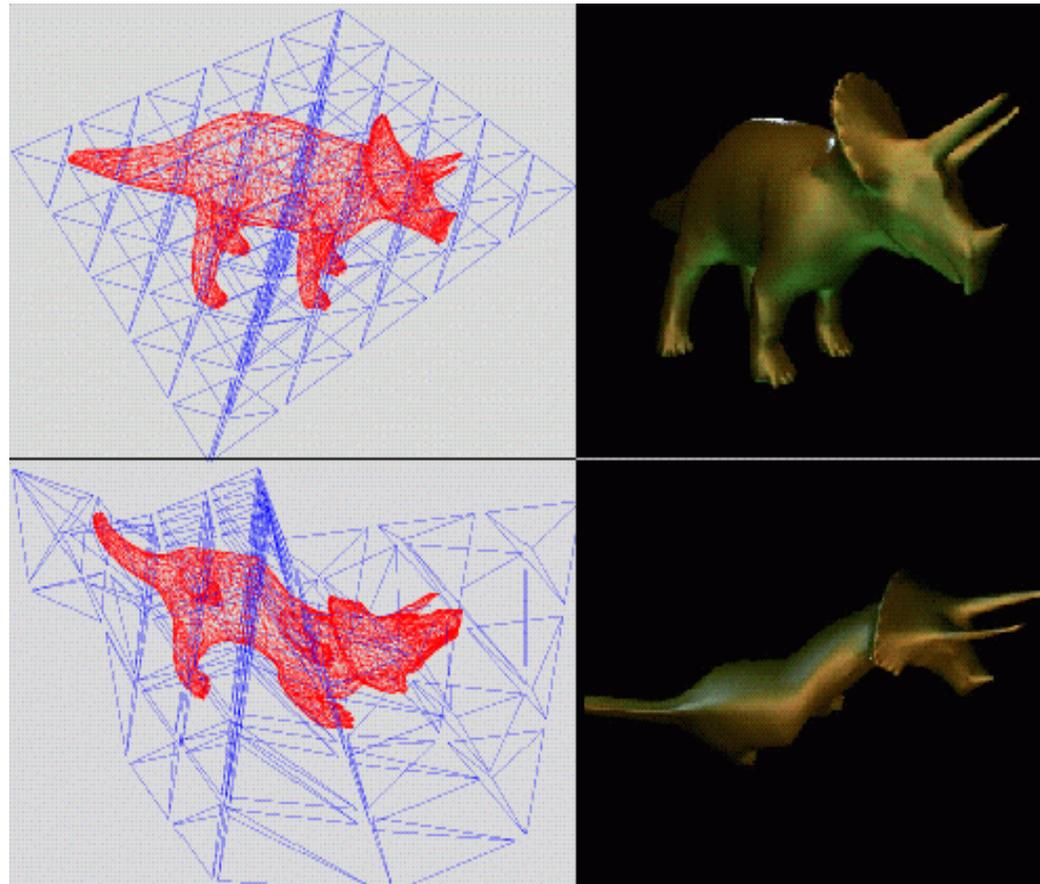
$$Q_{i,j,k}(u, v, w) = \sum B_i(u) B_j(v) B_k(w) P_{ijk}$$

- Déplacer les points de contrôle du bloc
- Recalculer les points de l'objet :  $P = Q_{i,j,k}(u_0, v_0, w_0)$



# Modélisation surfacique

## Déformations de grande échelle : FFD

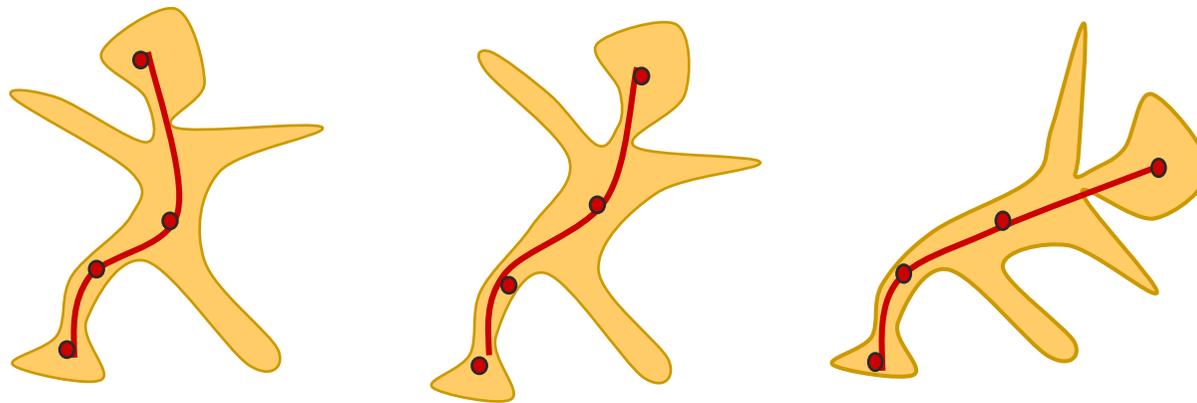


# Modélisation surfacique

## Déformations de grande échelle

### ■ Déformations axiales

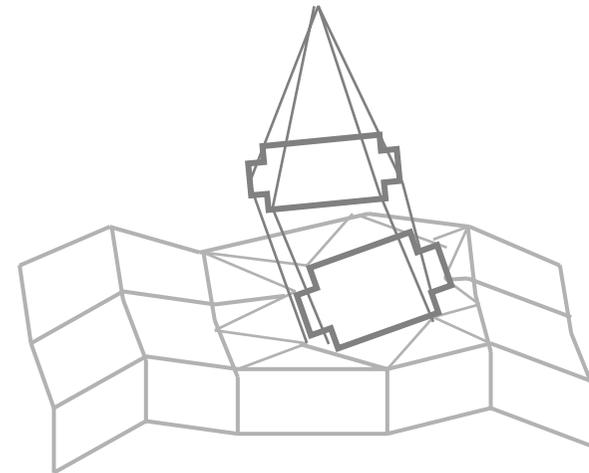
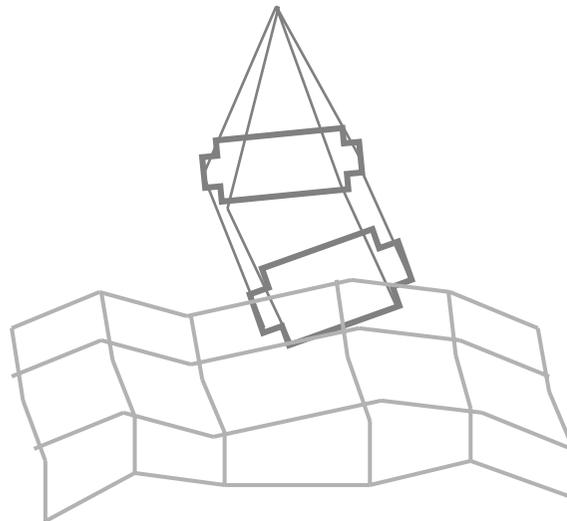
- Plonger un axe (courbe spline) dans l'objet
- Attacher les points de l'objet à des repères locaux
- Déformer l'axe



# Modélisation surfacique

## Assemblage de surfaces polygonales

1. Approcher les éléments à assembler (fitting)
2. Projeter la section sur l'autre surface
3. Re-trianguler localement et supprimer les faces internes

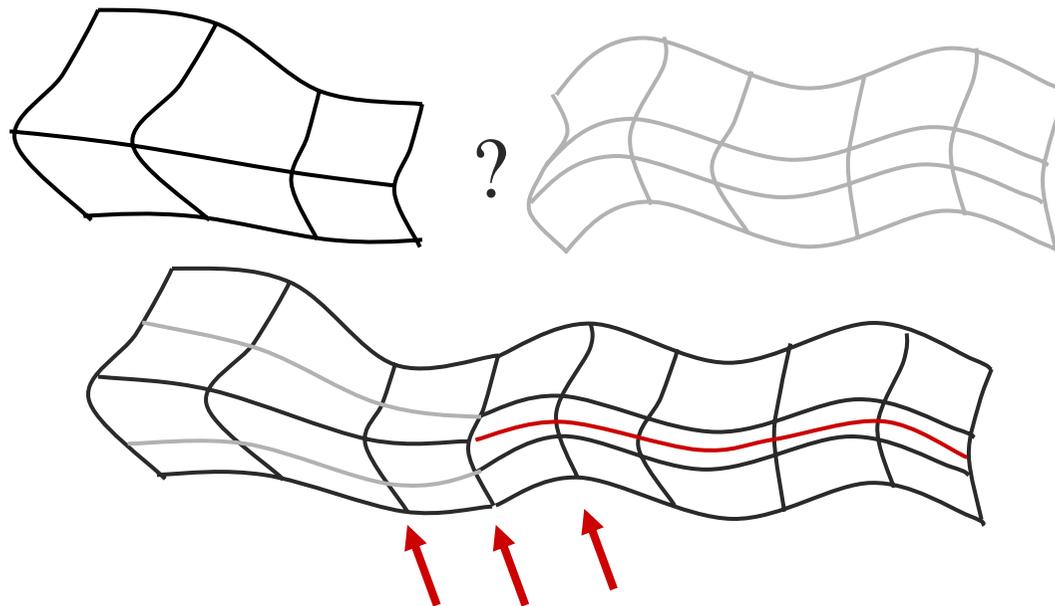


# Modélisation surfacique

## Assemblage de surfaces splines

### ■ Bord à bord

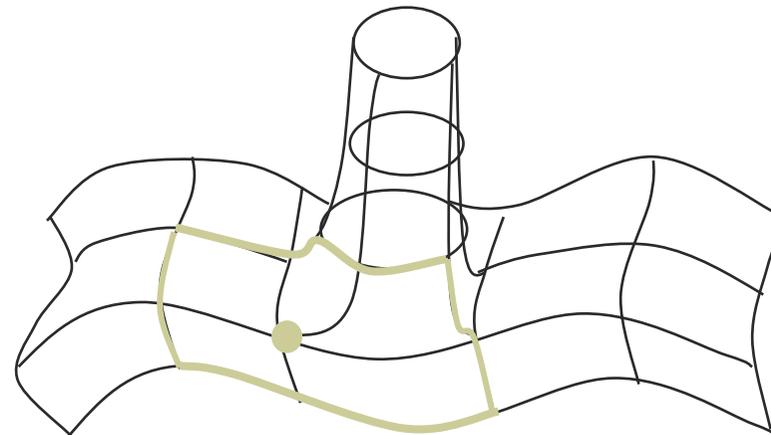
- nombre de lignes = ppcm des nombres de lignes initiales
- 3 rangées communes de points de contrôle



# Modélisation surfacique

## Assemblage de surfaces splines

- Poignées, embranchements ?
  - élément de surface à 5 cotés ?
  - jonction entre 5 carreaux ?





# Partie II- Modélisation

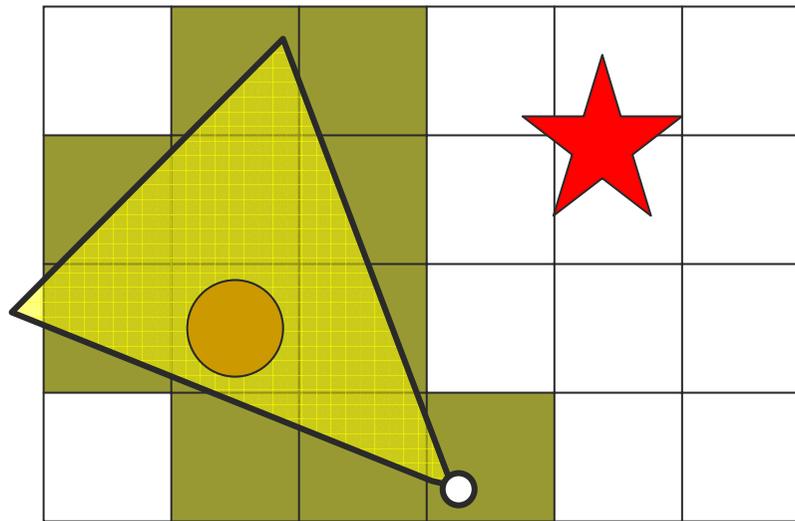
1. Techniques de modélisation
2. **Modélisation surfacique**
  - Représentations des surfaces
  - Surfaces de forme libre, déformations
  - **Modélisation surfacique interactive**
3. Modélisation volumique

# Modélisation surfacique interactive

- **Problème :**
  - Impossible d'afficher des scènes 3D hyper détaillées en temps réel. Le nombre de polygones affichable est limité par la puissance du matériel.
- **Plusieurs solutions sont possibles :**
  - **Structuration de la scène 3D**
    - Les mondes virtuels sont souvent composés d'objets structurés (ex: un immeuble composé d'appartements).
      - Utiliser cette structure pour ne considérer à un instant donné que la zone où se trouve l'utilisateur.

# Modélisation surfacique interactive

- Champ de Vision
  - Ne pas demander l'affichage des objets qui ne se trouvent pas dans la pyramide de vision, car ils ne seront pas affichés à l'écran.



# Modélisation surfacique interactive

## ■ Niveaux de détails

- Mais après avoir enlevé tous les objets ne se trouvant pas dans le champ de vision, il peut encore en rester un grand nombre à afficher.
- Ex: Objet lointain comportant un nombre très important de polygones.

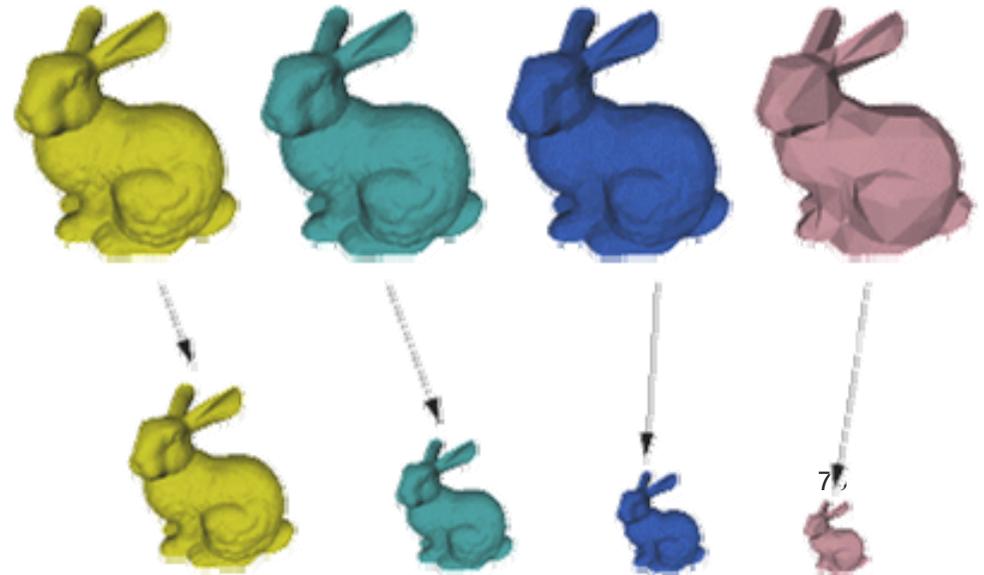
# Modélisation surfacique interactive

## ■ Idée :

- On ne remarque les détails d'un objet que si il est proche.
  - Si il est éloigné, on n'en voit que la structure grossière.
- Lui substituer des représentations plus ou moins détaillées, comportant plus ou moins de polygones, en fonction de la distance à laquelle il est vu.

→ Utilisation de **niveaux de détails**

(**LOD** : « *Levels Of Details* »)



# Modélisation surfacique interactive

## ■ Utilisation

- Dans une application temps réel, on ne simplifiera pas l'objet à la volée (trop lent).
- On construira les différents niveaux de représentation d'un objet 3D avec un logiciel spécialisé (ex: 3DS Max) et on utilisera ces fichiers.

## ■ Remarque

- Le choix des niveaux de détails à afficher peut dépendre d'autres paramètres que la distance de vue :
  - Puissance de la machine
  - Vitesse de l'objet par rapport à la caméra
  - Vision périphérique
  - ...

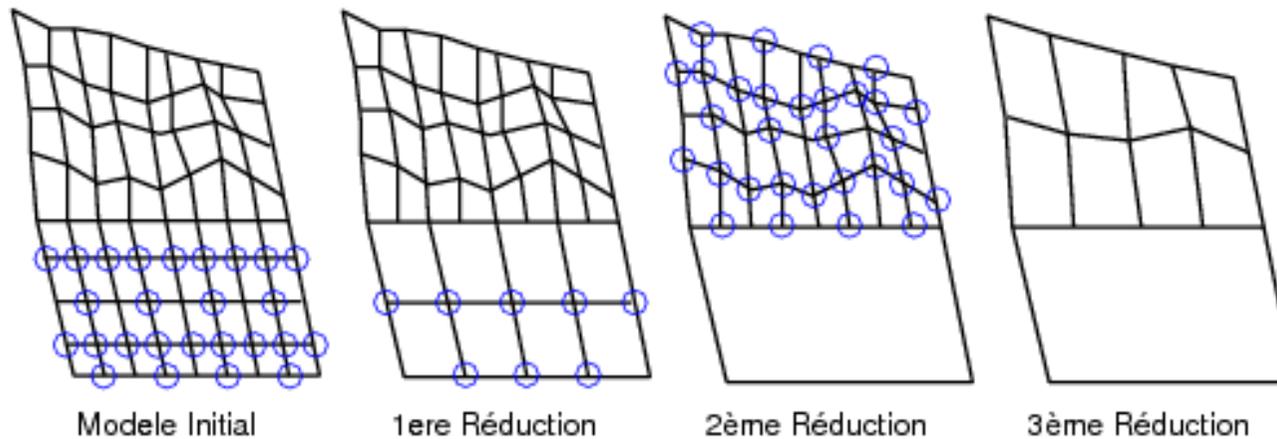
# Modélisation surfacique interactive

- **Création des niveaux de détails**
  - **Simplification géométrique d'objets**
  - **Objectifs :**
    - Simplifier la représentation géométrique des objets en réduisant le nombre de polygones.
    - Conserver la forme générale.
- **Opérateurs de simplification**
  - **Normalisation** : élimine les points et les arêtes définis plusieurs fois.
  - **Simplification des sommets** : tous les points à l'intérieur d'un volume (cube, sphère) centré autour d'un point sont regroupés → Les amas de points et les petites facettes sont combinés.
  - Suppression de facettes dont la surface est trop petite.

# Modélisation surfacique interactive

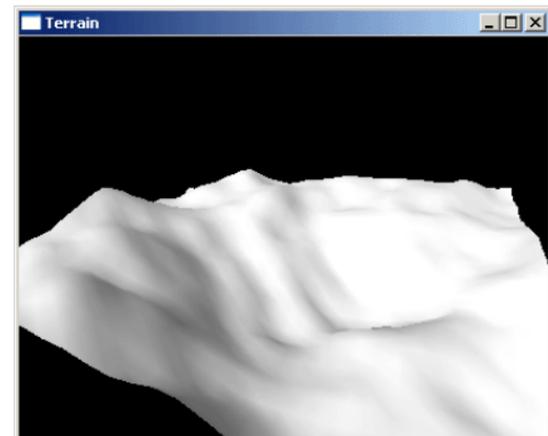
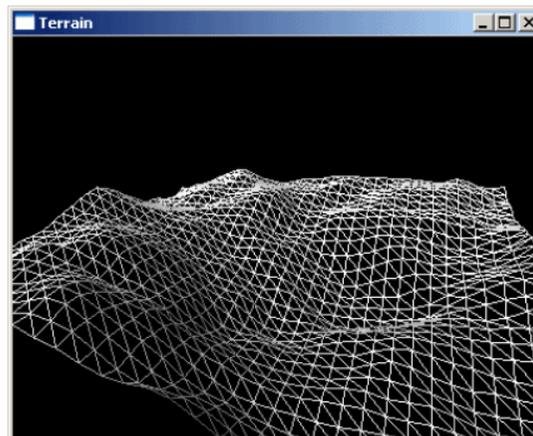
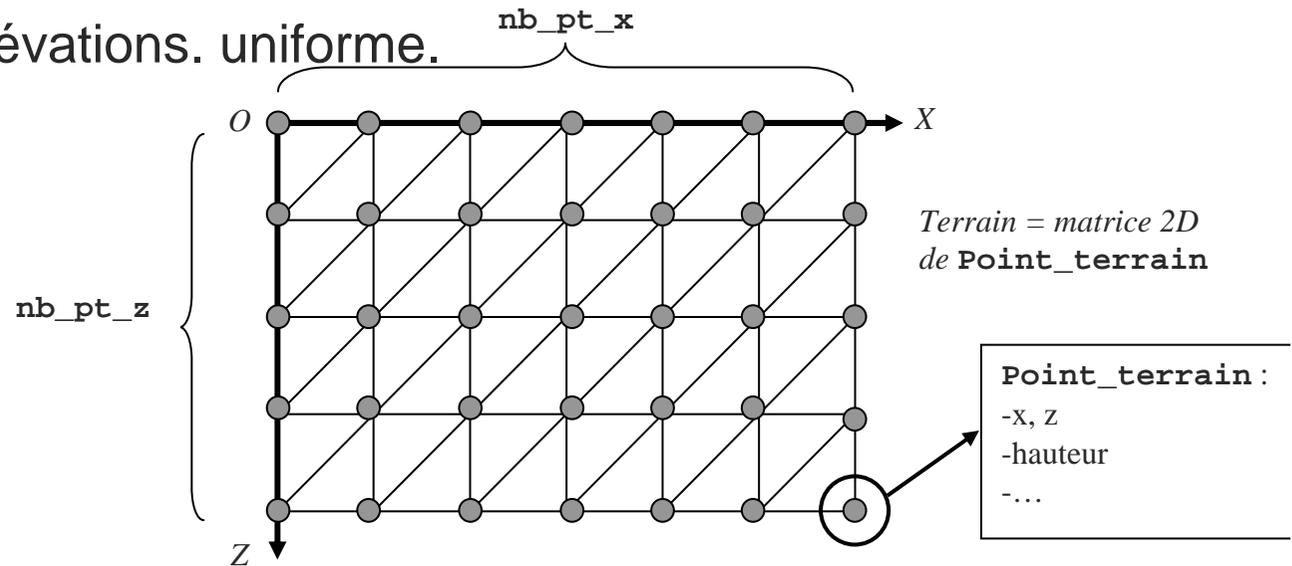
## ■ Réduction géométrique

- Cette méthode part du modèle d'origine et le simplifie en retirant des faces ou des sommets récursivement.
- Critères d'arrêt :
  - Lorsqu'il n'est plus possible de retirer de géométrie.
  - Lorsque le degré d'approximation voulu est atteint.



# Modélisation surfacique interactive

- Exemple des terrains
  - carte d'élévations. uniforme.



# Modélisation surfacique interactive

- Exemple des terrains
- **Problème** : Un terrain peut parfois représenter des millions de faces.
- Impossible d'afficher en temps réel une zone de plusieurs km<sup>2</sup> (nécessaire pour des simulateurs, surtout de vol)

# Modélisation surfacique interactive



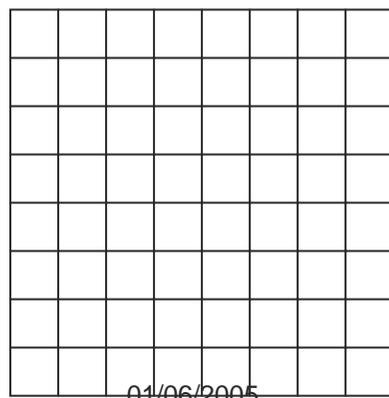
*Grand Canyon*

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

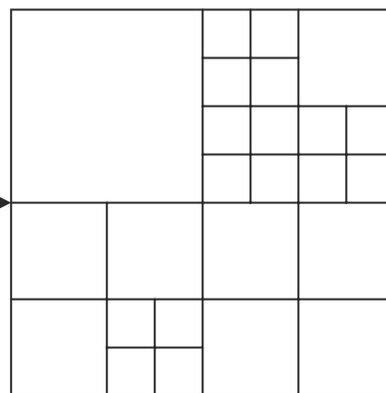
→ Il existe de nombreuses techniques de LOD pour les terrains.

# Modélisation surfacique interactive

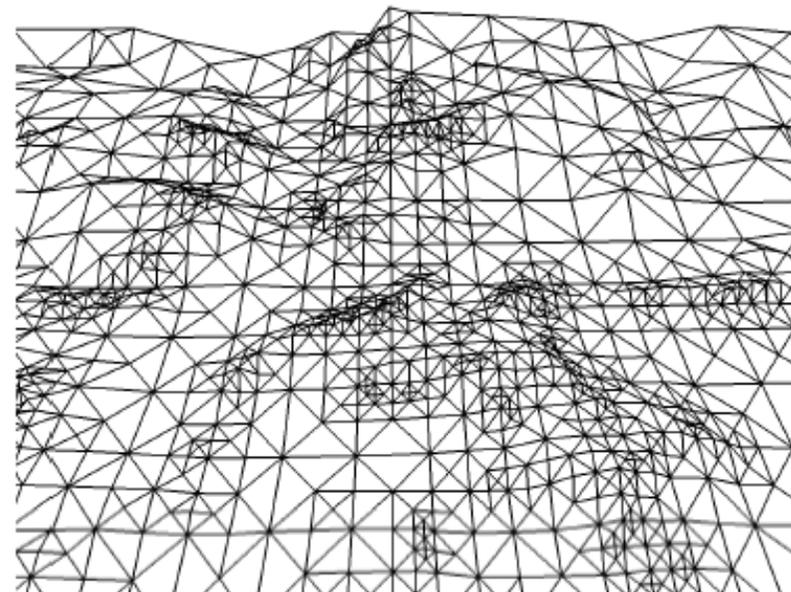
- LOD Terrains : **Quadtree**
- Objectifs :
  - Réduire le nombre de points.
  - Déterminer rapidement les polygones des zones à afficher.
  - Afficher des zones + ou – grossières (nœuds + ou – proches des feuilles) en fonction de la distance.



*Uniforme*

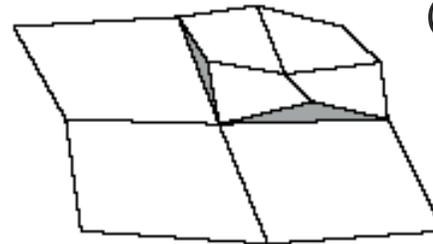
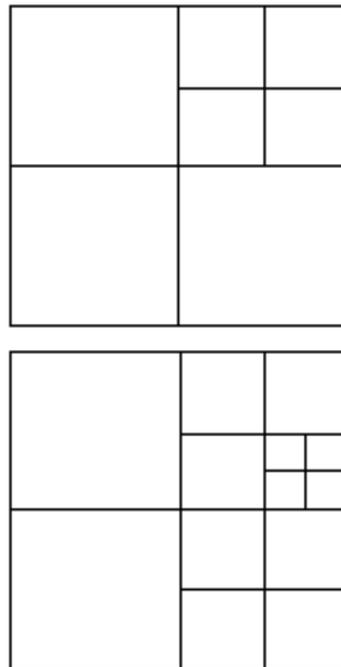


*Quadtree*

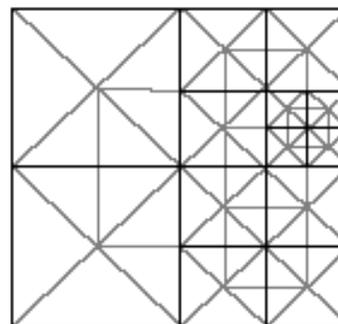


# Modélisation surfacique interactive

- LOD Terrains : **Quadtree**
  - Génération des triangles



Problème de jonction en « T »  
(« *T-cracks* »)



Solution : chaque carré est subdivisé en 8 triangles, 2 triangles par côté, à moins que le côté ne borde un carré plus grand. Dans ce cas, un seul triangle est créé le long de ce côté.

# Modélisation surfacique interactive

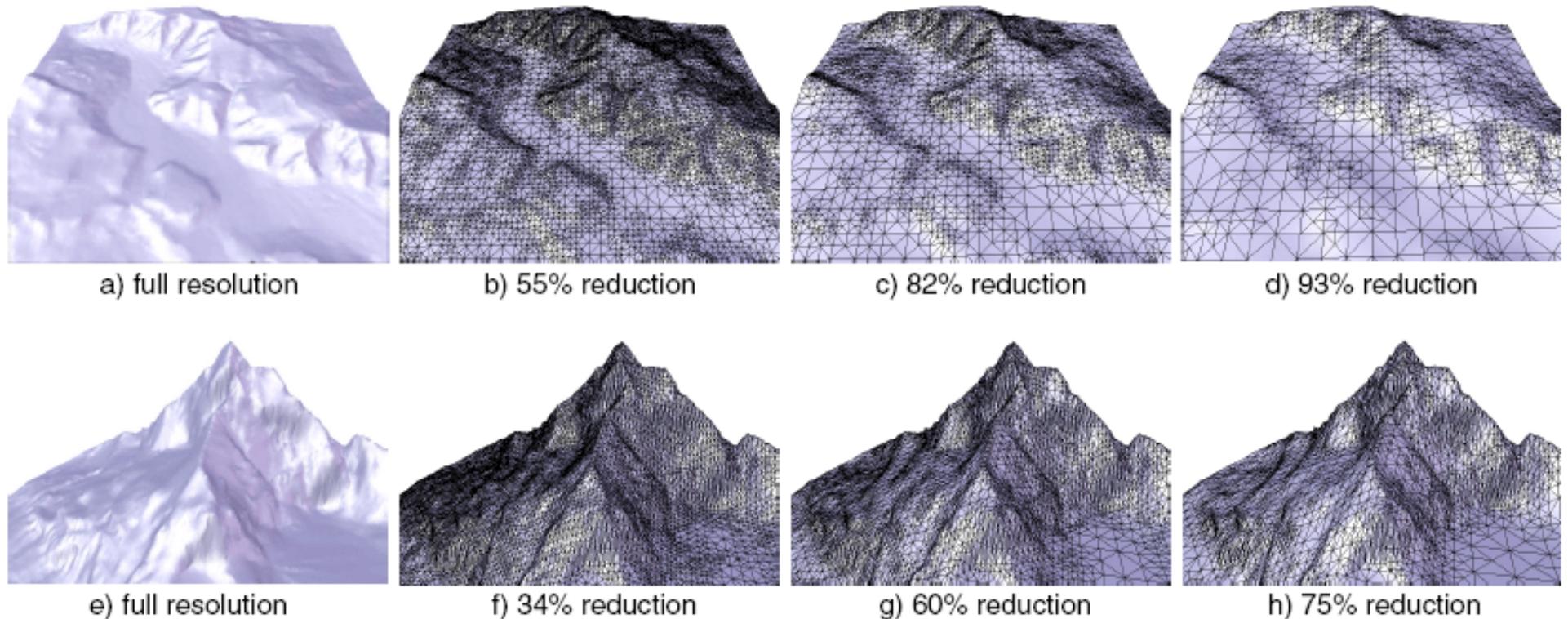
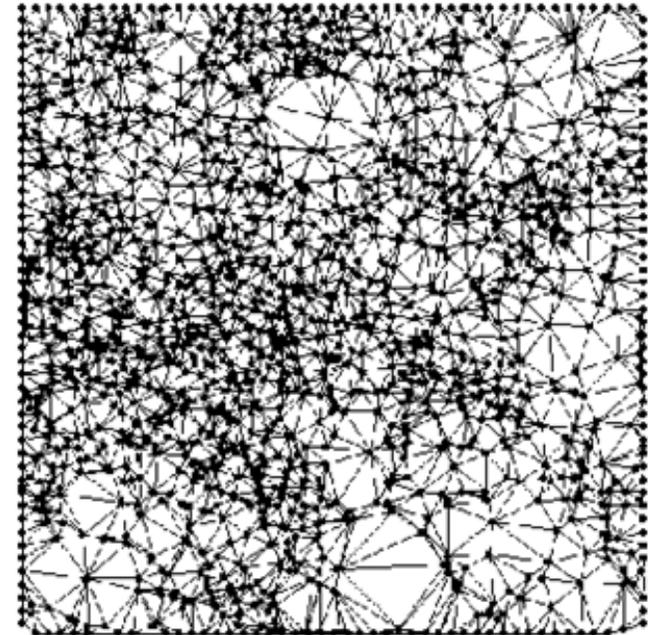


FIGURE 26. Top row of images shows the *Albis* terrain patch with a) 25921, b) 11636, c) 4664 and d) 1789 points. The bottom row shows the *Matterhorn* terrain patch with e) 25921, f) 17156, g) 10492 and h) 6367 points.

<http://www.ics.uci.edu/~pajarola/pub/UCI-ICS-02-01.pdf>

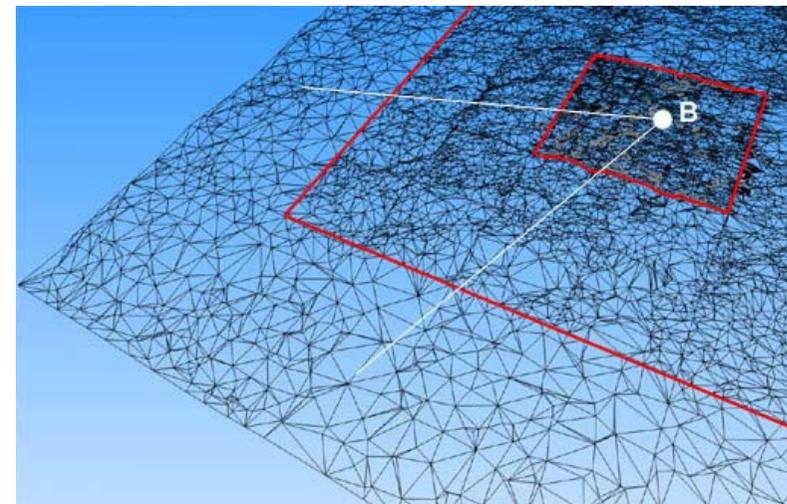
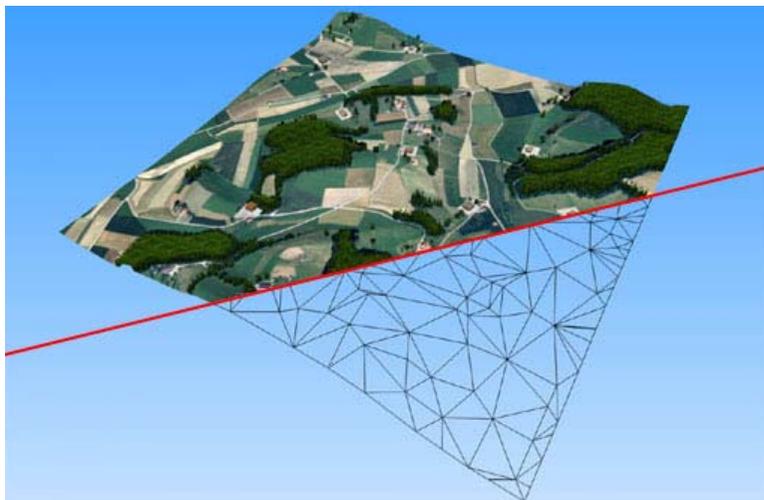
# Modélisation surfacique interactive

- **LOD : Triangular Irregular Network (TIN)**
  - La carte d'élévation n'est pas donnée par une matrice 2D uniforme d'altitudes mais par un réseau irrégulier de triangles.
  - On aura plus de triangles dans des zones détaillées (changements de relief) que dans des zones plus homogènes (plates).
  - Cette triangulation peut être obtenue avec la **triangulation de Delaunay**.



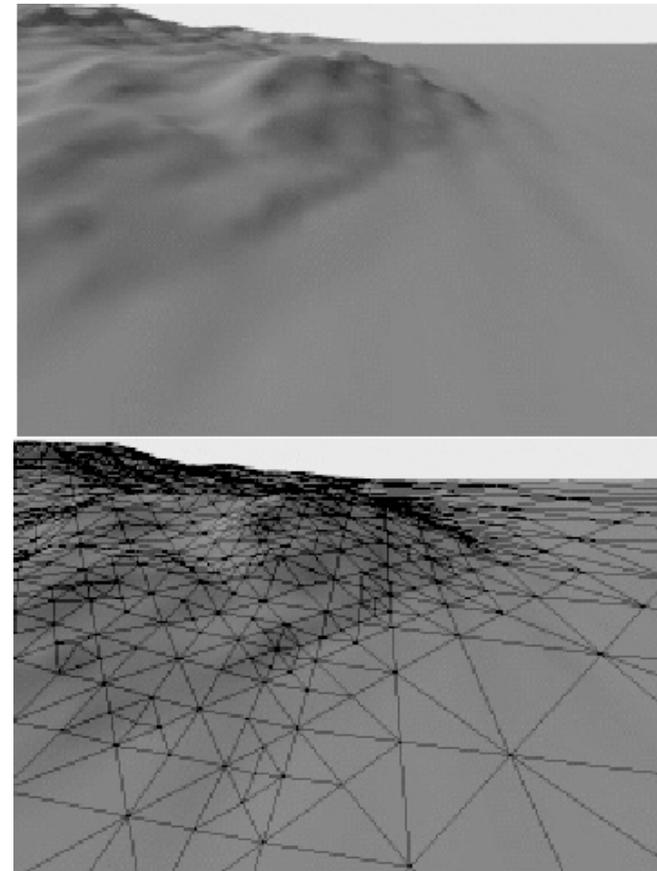
# Modélisation surfacique interactive

- **LOD : Découpage du terrain en dalles avec LOD**
  - En fonction de la distance par rapport à l'observateur, on utilise des dalles couvrant une surface plus ou moins importante et comportant plus ou moins de triangles.
  - Problèmes de transition lorsque l'observateur se déplace, les dalles passent d'un LOD à un autre.



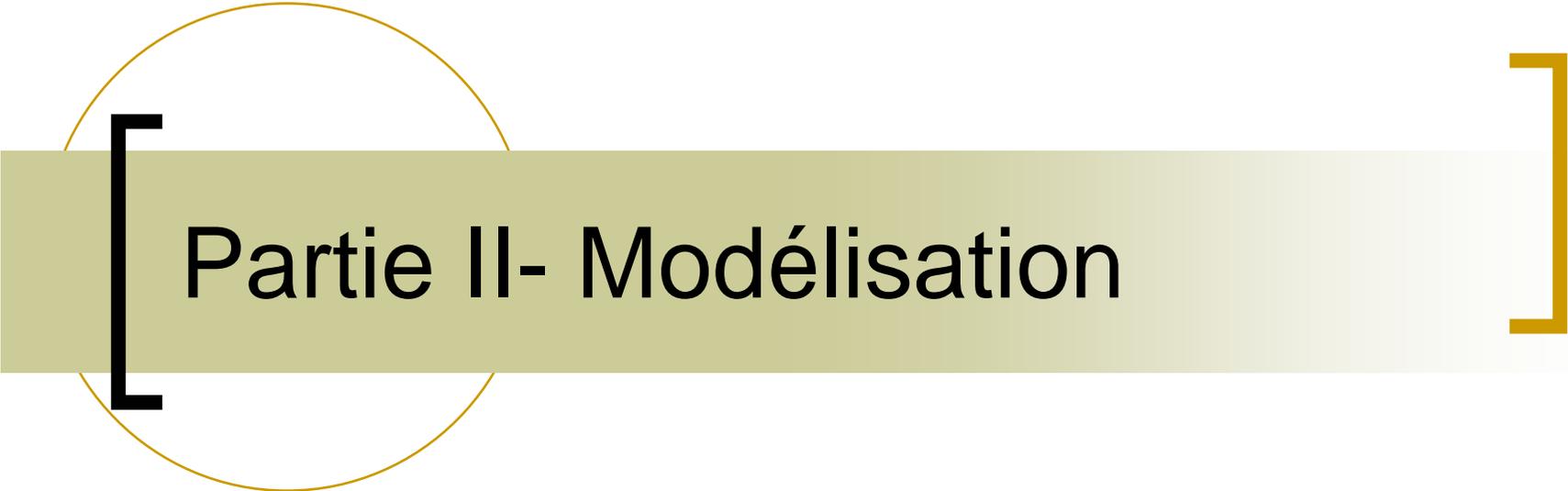
# Modélisation surfacique interactive

- **LOD : ROAM (Real-time Optimally Adapting Meshes)**
  - Génération de triangles à la volée en fonction du point de vue.



# Modélisation surfacique interactive

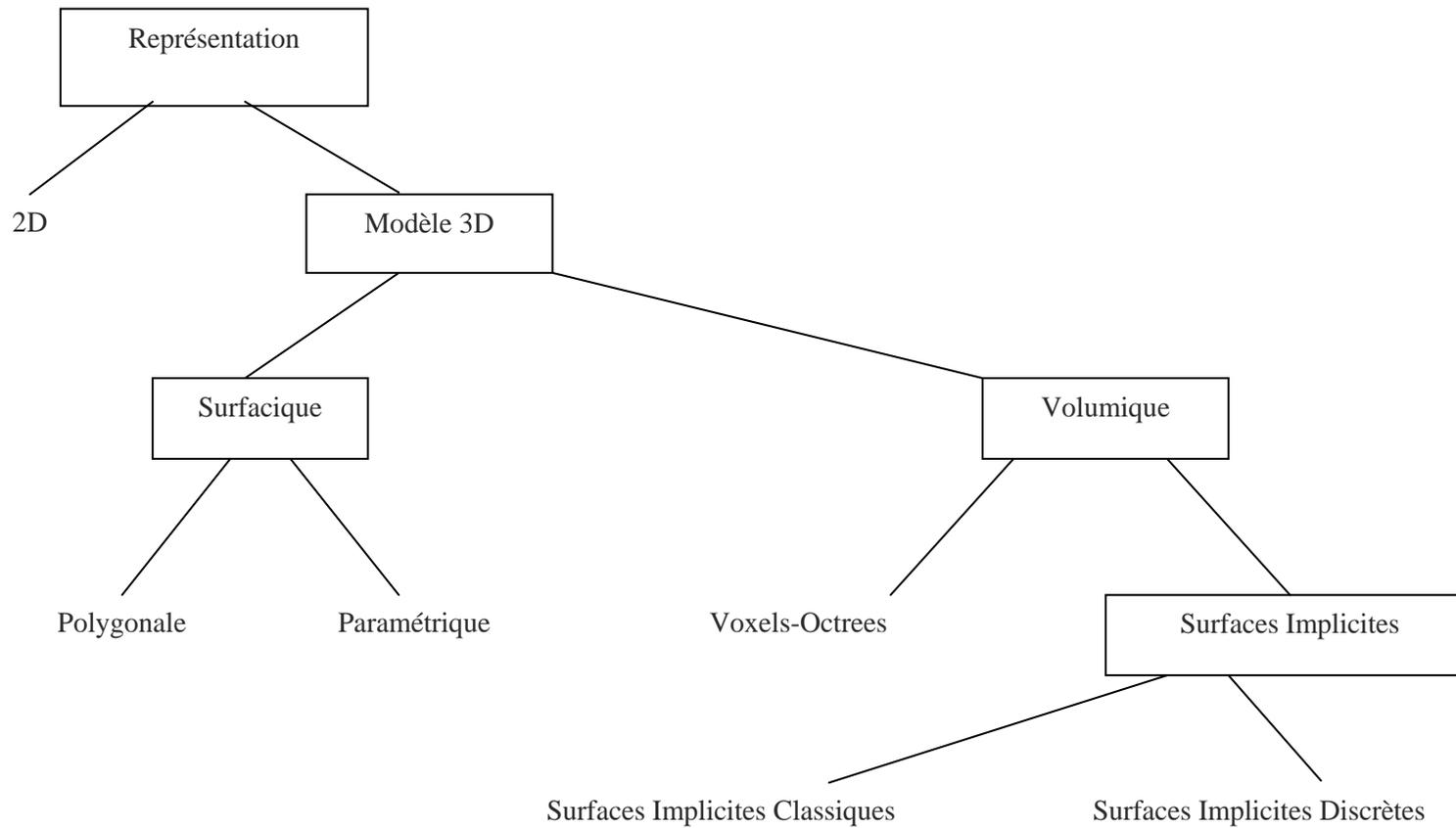
- **Simplification structurelle d'objets**
  - Ces méthodes changent la structure de représentation des objets.
  - Ex: remplacer un objet polygonal par une boîte englobante texturée à l'aide d'une image produite à partir d'une version détaillée de l'objet.
  
  - LOD ainsi créés = *imposteurs*
  
 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



# Partie II- Modélisation

1. Techniques de modélisation
2. Modélisation surfacique
3. **Modélisation volumique**
  - **Représentations**
    - Volumes discrets, CSG, surfaces implicites,  
...
  - Modélisation volumique interactive

# [ Représentations volumiques ]



# Représentations volumiques

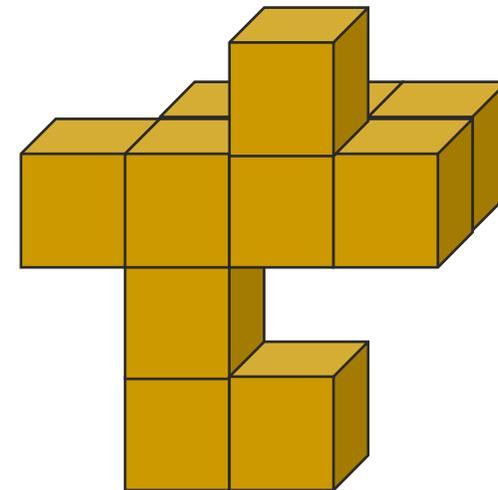
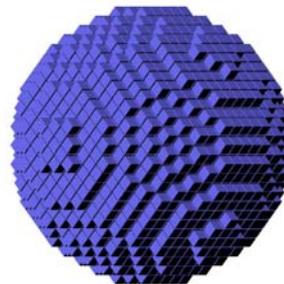
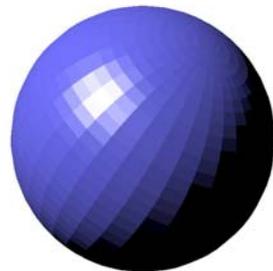
## 1. Voxels

### Volumes discrets

- *Voxels* = éléments d'une grille 3D
- Présence ou absence de matière

### Visualisation

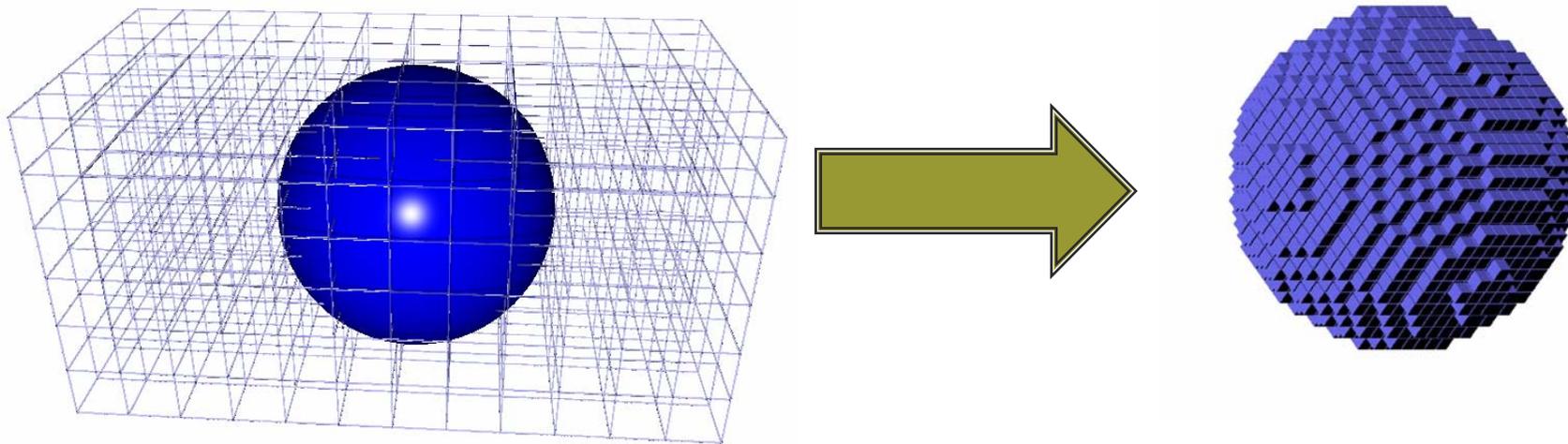
- Rendu volumique
- Marching cubes



# Représentations volumiques

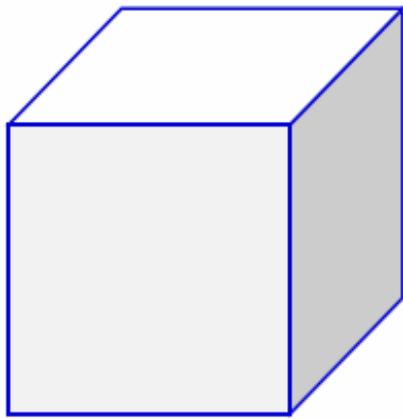
## 1. Voxels

- Décomposition de l'objet en « cellules »

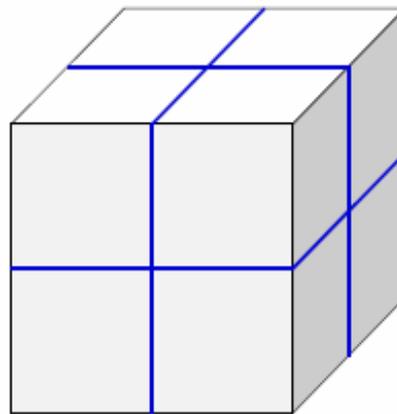


# Représentations volumiques

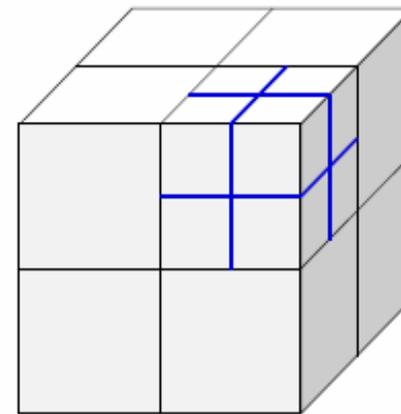
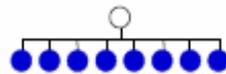
## 2. Arbre Octal



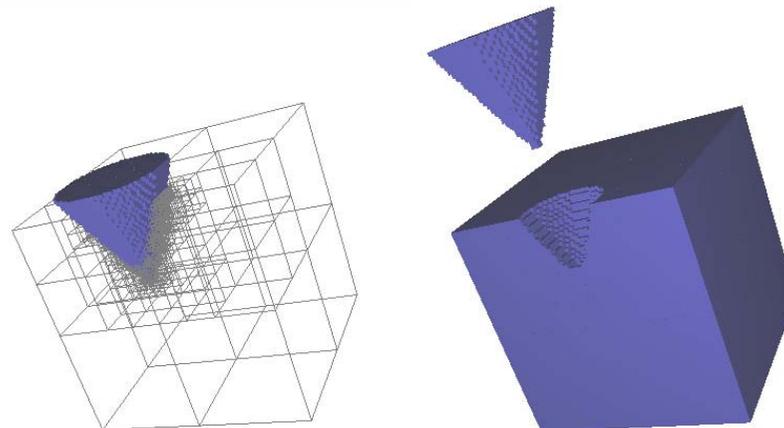
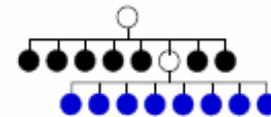
niveau 1



niveau 2



niveau 3

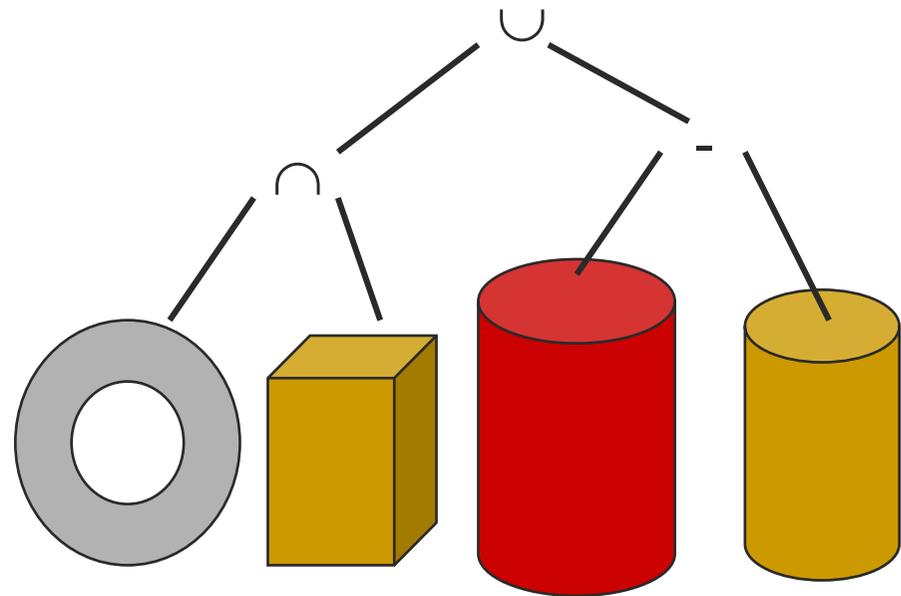


# Représentations volumiques

## 3. Arbres CSG

### Constructive Solid Geometry

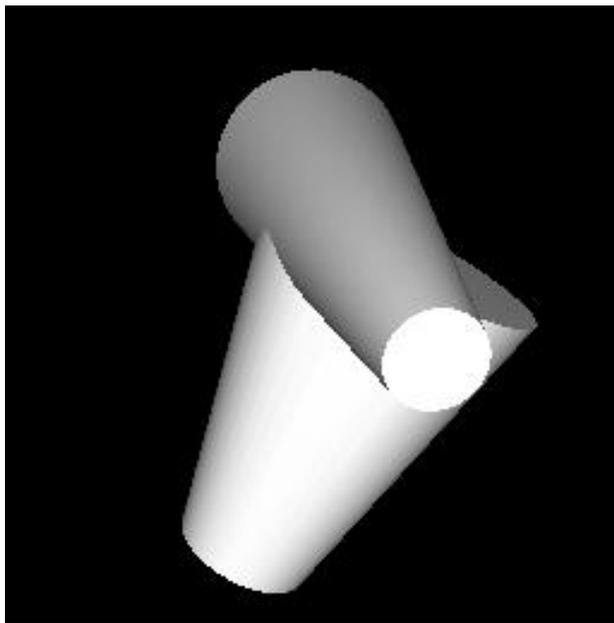
- Opérateurs booléens
  - Union (ou)
  - Intersection (et)
  - Différence (not)
- Arbre de construction
- Très utilisé en CAO, mais visualisation délicate



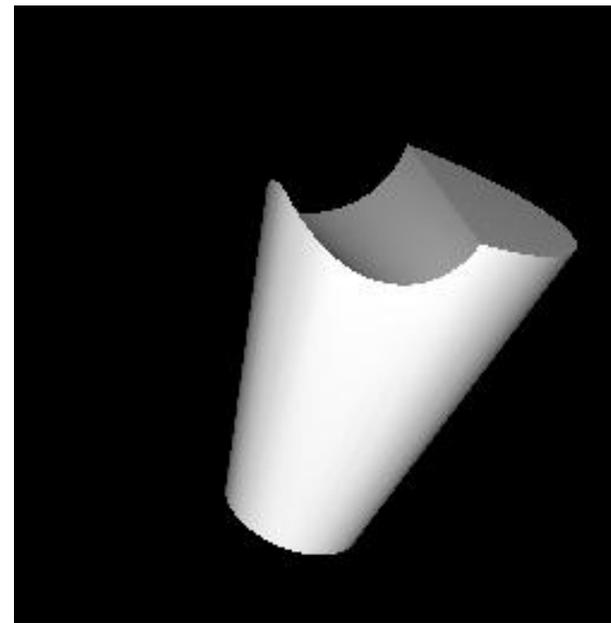
# Représentations volumiques

## 3. Arbres CSG

- Exemple avec 2 primitives :



Union



Différence

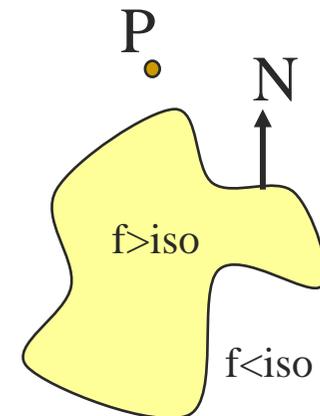
# Représentations volumiques

## 4. Surfaces implicites

Définies par une équation implicite

$$S = \{ P(x,y,z) / f(x,y,z) = iso \}$$

- $f$  est la « fonction potentiel »
- normale à la surface :  $N = - \nabla f$
- modélisation volumique : *intérieur*  $f(x,y,z) > iso$ 
  - test d'appartenance d'un point  
(détections de collisions, lancer de rayons)



# Représentations volumiques

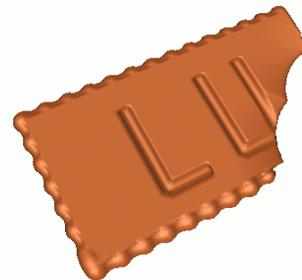
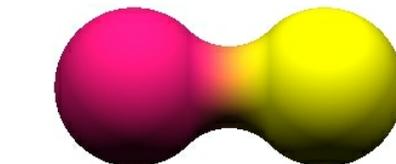
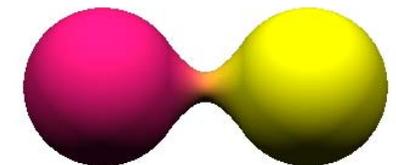
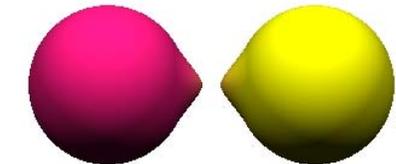
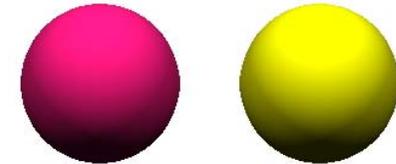
## 4. Surfaces implicites

$$S = \{ P(x,y,z) \mid f(x,y,z) = iso \}$$

Intérêt : Combiner des

éléments

- union :  $f = \max(f_1, f_2)$
- Intersection :  $f = \min(f_1, f_2)$
- « mélange » :  $f = f_1 + f_2$



# Représentations volumiques

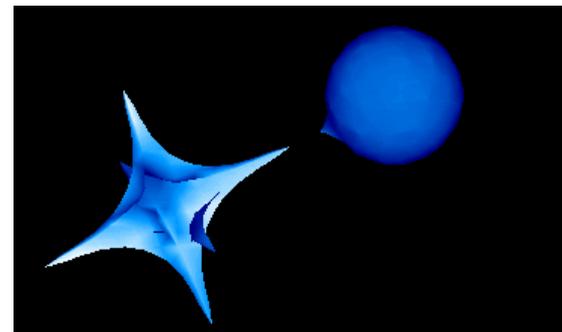
## 4. Surfaces implicites

$$S = \{ P(x,y,z) \mid f(x,y,z) = iso \}$$

Définition et contrôle de  $f$  ?

- Trois catégories de surfaces
- 1. **Algébriques (équation analytique)**
  - Super-ellipsoïdes
  - Super-quadriques

Primitives de base, mais contrôle des formes peu intuitif

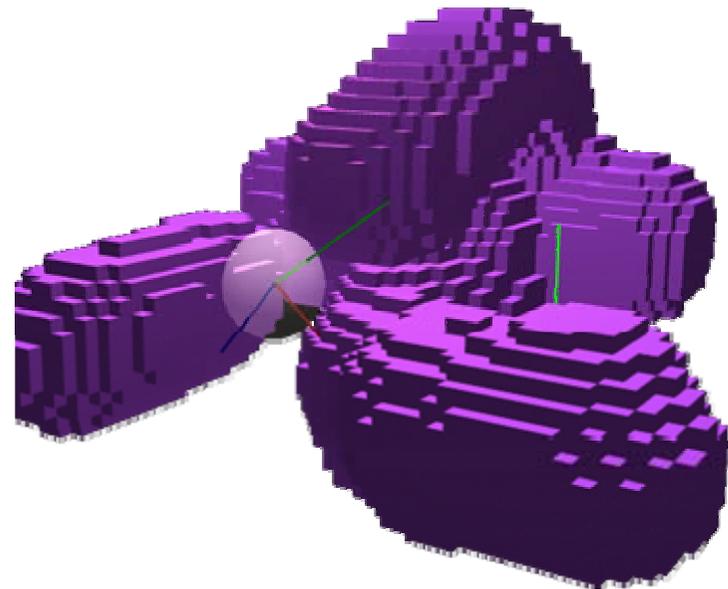
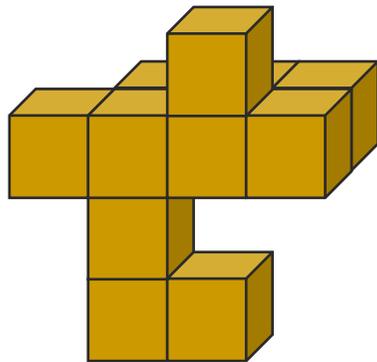


# Représentations volumiques

## 4. Surfaces implicites

### 2. Définies par valeurs

- Dans une grille

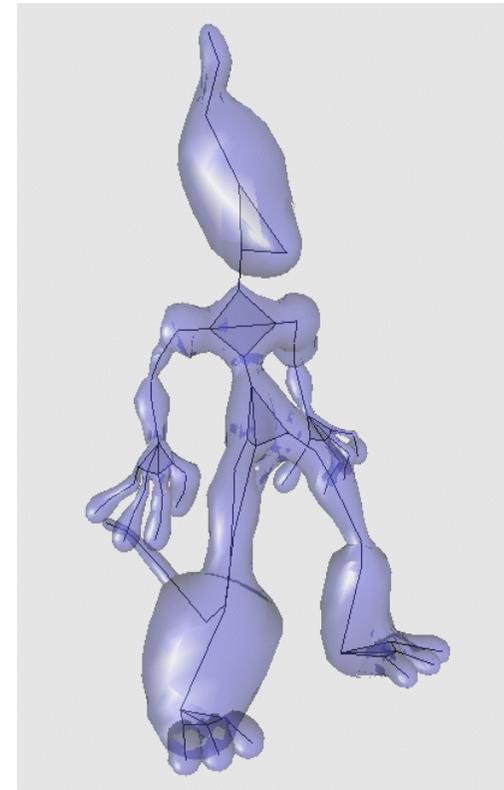
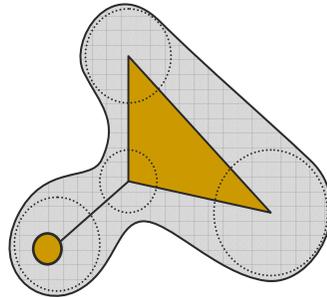


# Représentations volumiques

## 4. Surfaces implicites

### 3. Définies par squelettes

- Représentation compacte & intuitive
- Primitives de contrôle

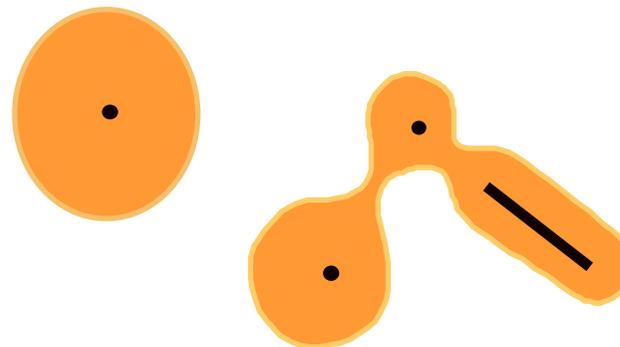
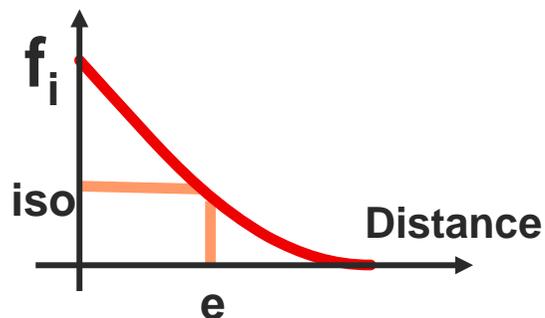


# Représentations volumiques

## 4. Surfaces implicites

### 3. Définies par squelettes

- $f = \sum f_i$        $S = \{ P / f(P) = iso \}$
- $f_i$  fonction décroissante de la *distance*( $P, S_i$ )
  - Contrôle local si  $f_i$  à support compact
  - Topologie variable
  - Deux paramètres importants : taille et rayon d'influence



# Représentations volumiques

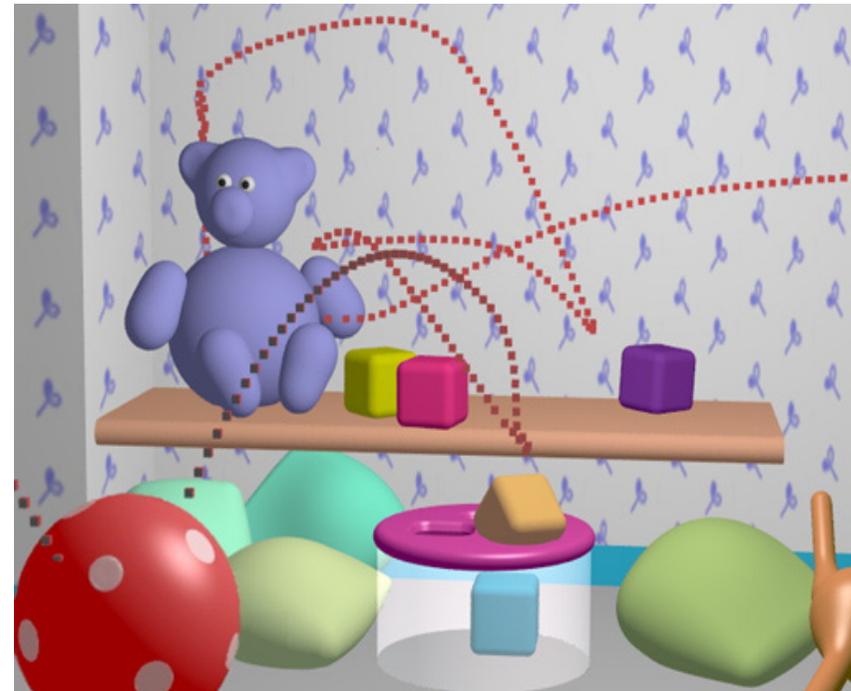
## 4. Surfaces implicites

### *Squelettes ponctuel*

- Exponentiel
  - Blobs
  - Polynomial (contrôle local)
  - soft objects
  - meta-balls

### *Autres squelettes*

- courbe, surface, volume....
- Savoir calculer la distance !



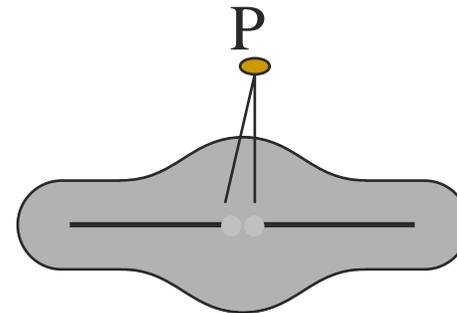
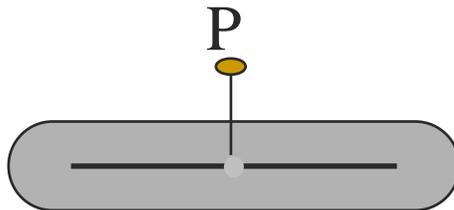
*Squelette négatif : creuse l'objet !*

# Représentations volumiques

## 4. Surfaces implicites

### *Squelettes courbes et surfaciques*

- Surfaces de distance
  - un seul point du squelette est utilisé ( le plus proche de  $p$  )
  - Créé des bosses (bulges) au niveau des jonctions



# Représentations volumiques

## 4. Surfaces implicites

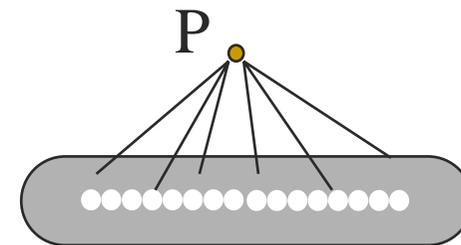
### *Squelettes courbes et surfaciques*

#### ■ Surfaces de convolution

- tous les points du squelette

$$F(S, p) = \int_{s \in S} f(s, p) ds$$

- Calcul discret de l'intégrale
- Solution analytique

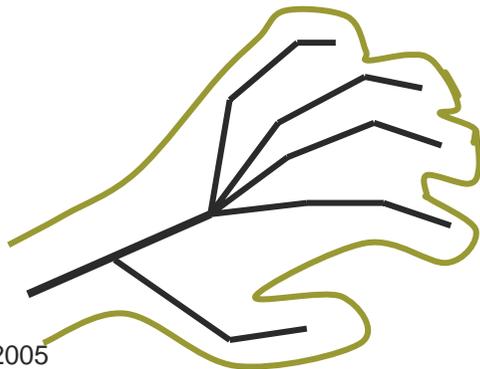
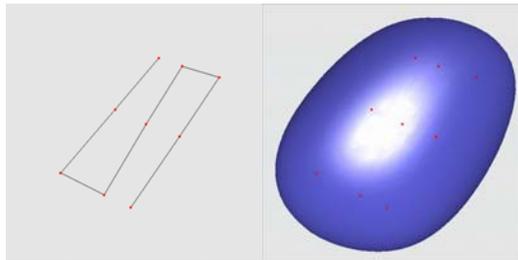


# Représentations volumiques

## 4. Surfaces implicites

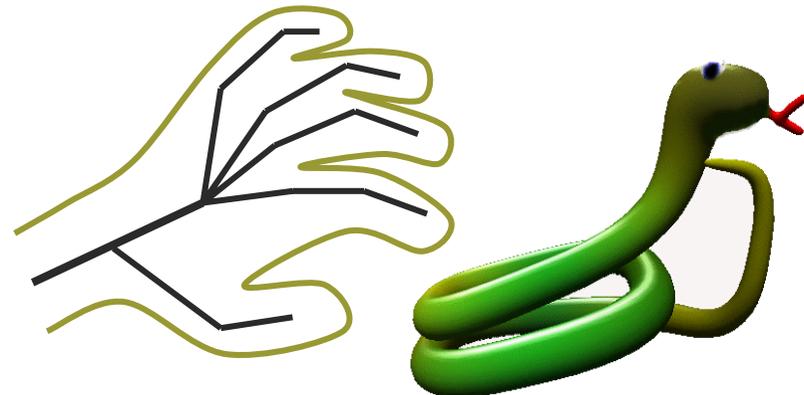
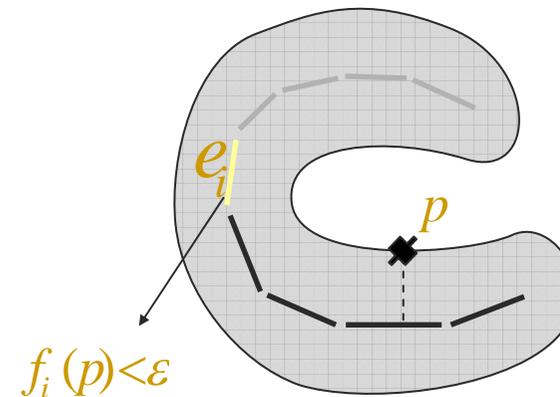
Problème du mélange indésirable

■ Sans graphe de mélange



01/06/2005

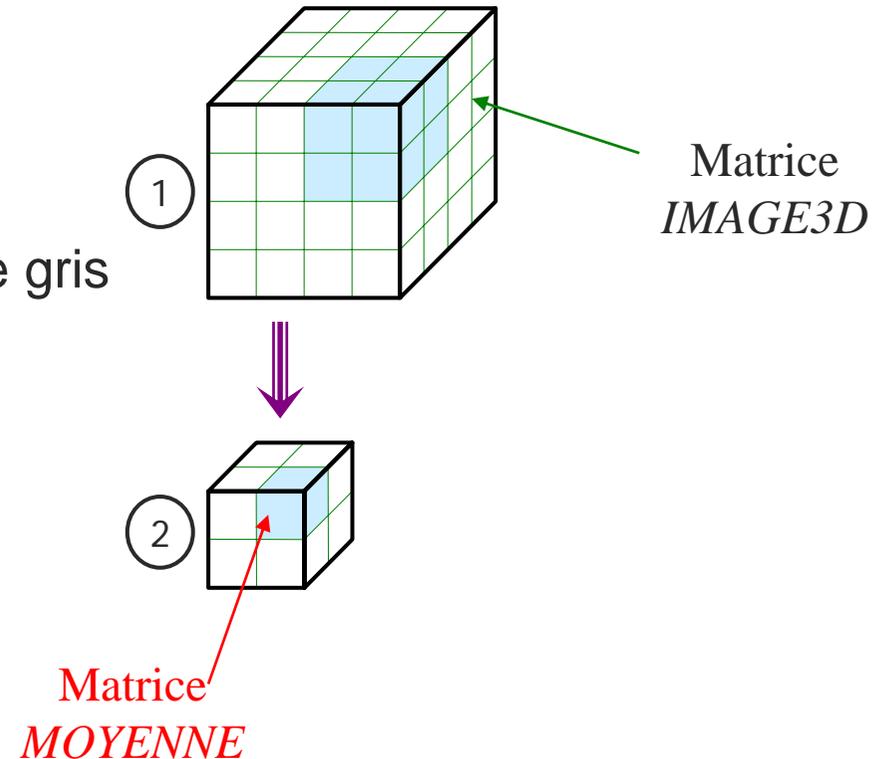
■ Avec :



# Représentations volumiques

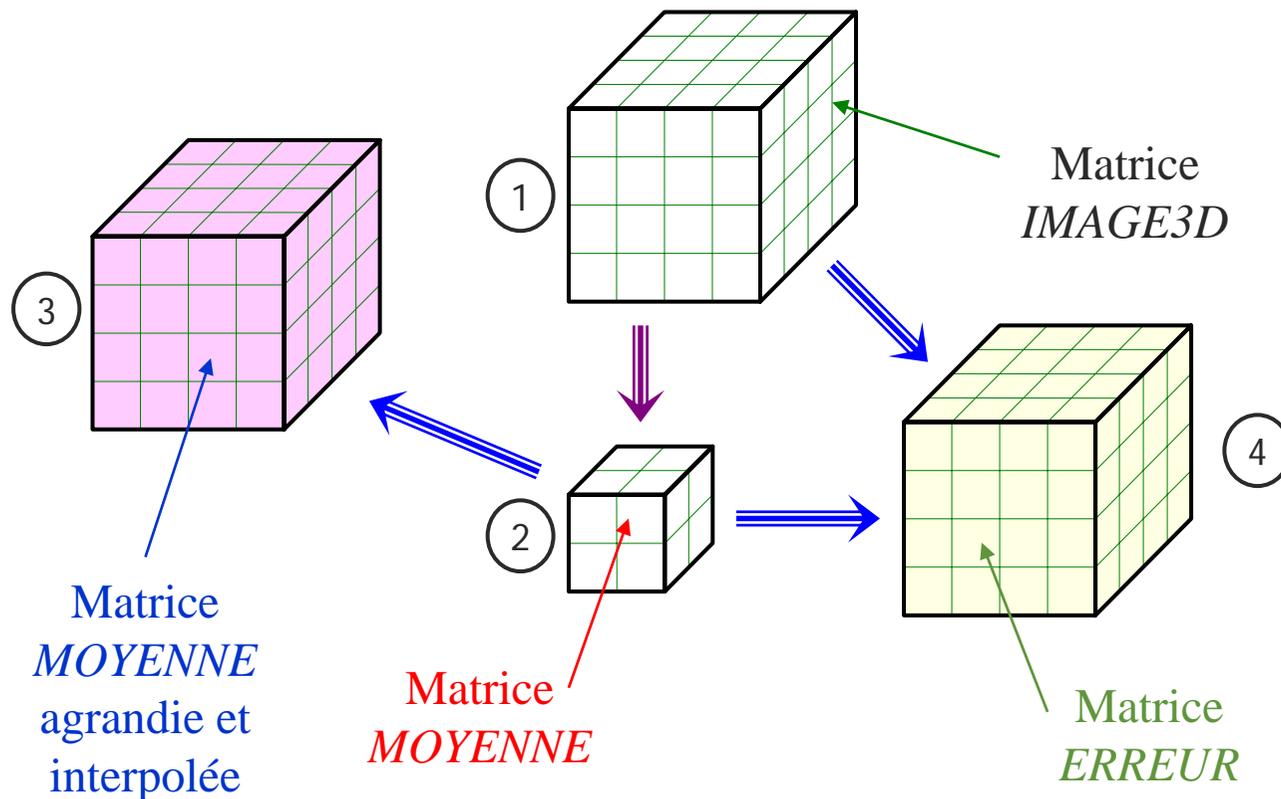
## 5. Énumération par ondelettes

- Énumération uniforme
  - Matrice 3D
  - Données : binaire ou niveau de gris
- Énumération par ondelettes
  - Matrices ERREUR
  - Matrice REDUC
  - Niveau : n



# Représentations volumiques

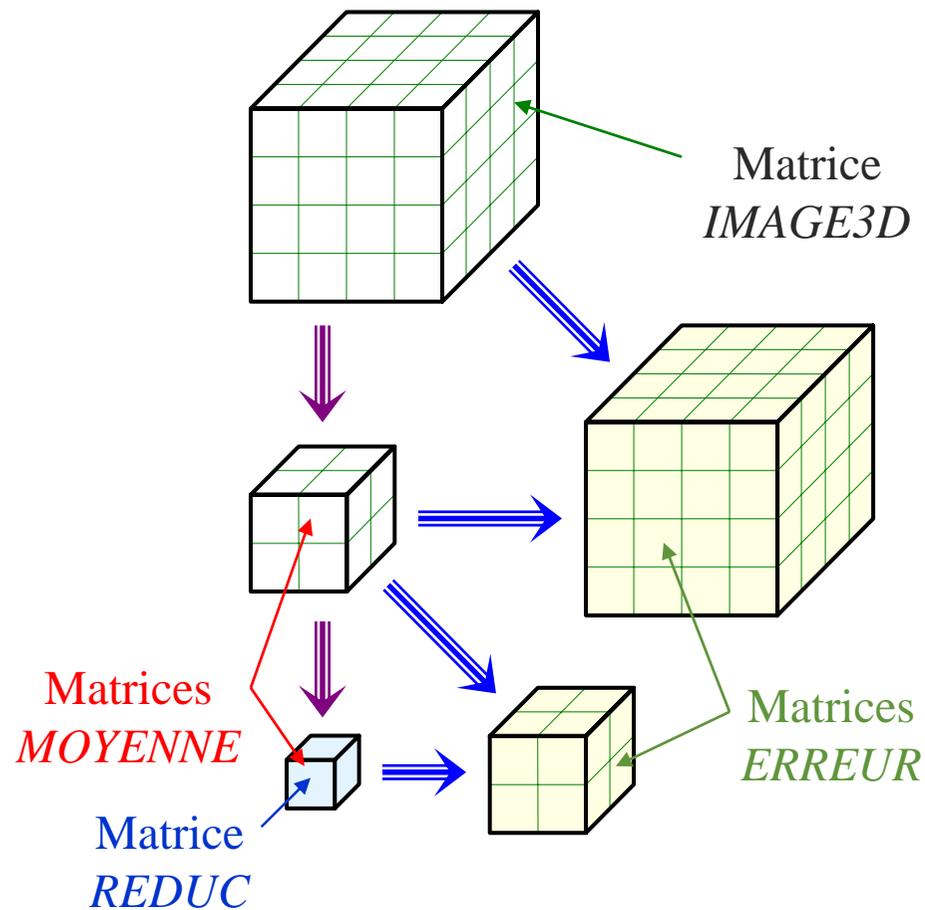
## 5. Enumération par ondelettes



Matrice <i>IMAGE3D</i>
-
Matrice <i>MOYENNE</i> agrandie et interpolée
=
Matrice <i>ERREUR</i>

# Représentations volumiques

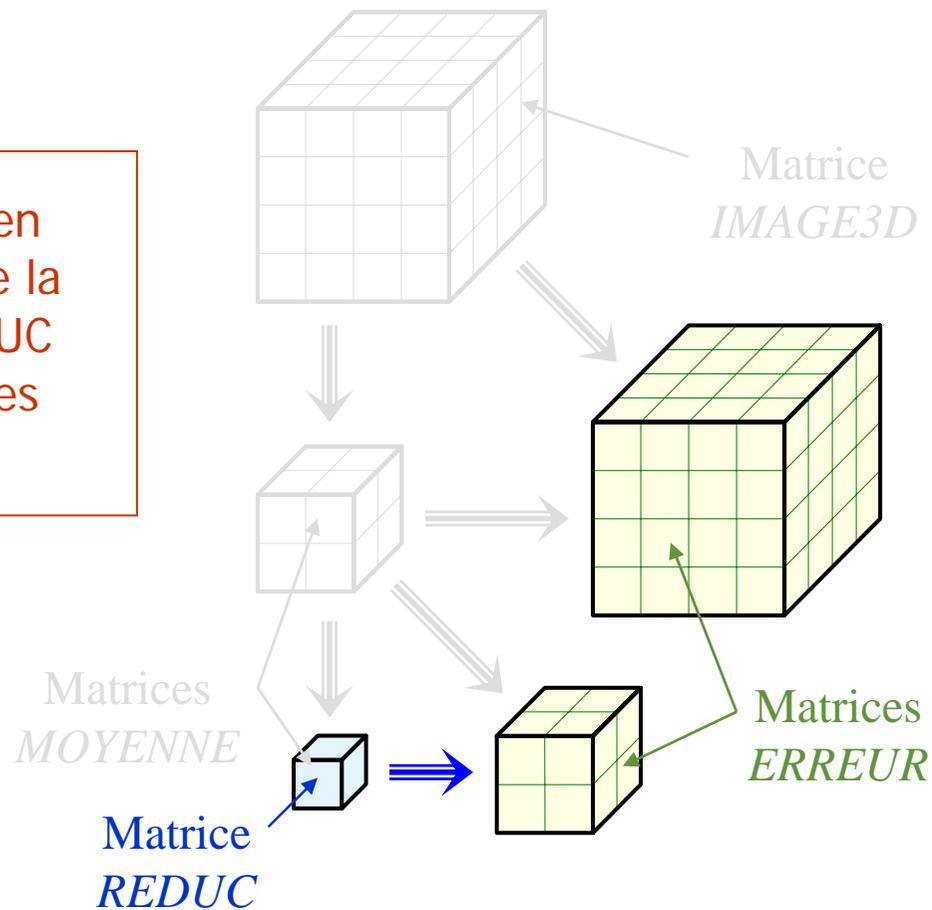
## 5. Enumération par ondelettes



# Représentations volumiques

## 5. Enumération par ondelettes

On ne code en mémoire que la matrice REDUC et les matrices ERREUR.



# Représentations volumiques

## 5. Enumération par ondelettes



Niveau 0  
64×64×64



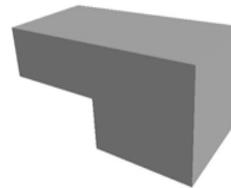
Niveau 1  
32×32×32



Niveau 2  
16×16×16



Niveau 3  
8×8×8



Niveau 4  
4×4×4

# Représentations volumiques

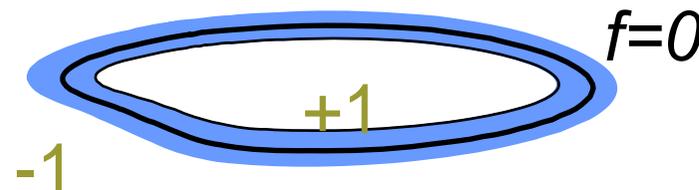
## 5. Énumération par ondelettes

- Énumération par ondelettes
  - Inconvénients
    - Temps de construction
    - Temps de pré-calculs pour l'affichage
  - Avantages
    - Temps d'affichage diminue avec niveau d'affichage
    - Meilleure interactivité temps-réel utilisateur/objet

# Représentations volumiques

## 6- Comparaison

- Approches constructive (squelettes + CSG)
  - Stockage hiérarchique compact
  - Calcul du potentiel fonction du nb d'éléments
- Approches discrètes (voxels, potentiel discrétisé)
  - Potentiel en temps constant
  - Coût mémoire important
    - Ne stocker que les voxels utiles!





# Partie II- Modélisation

1. Techniques de modélisation
2. Modélisation surfacique
3. **Modélisation volumique**
  - Représentations
    - Volumes discrets, CSG, surfaces implicites, ...
  - **Modélisation volumique interactive**

# Modélisation Volumique Interactive Sculpture virtuelle

- Utilisation d'un CSG
  - Objet et outil sont des ellipsoïdes
  - Si les définitions sont implicites, utilisation de R-Fonctions



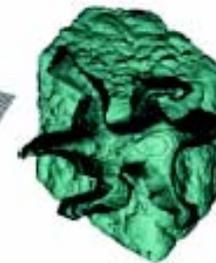
(a)



(b)



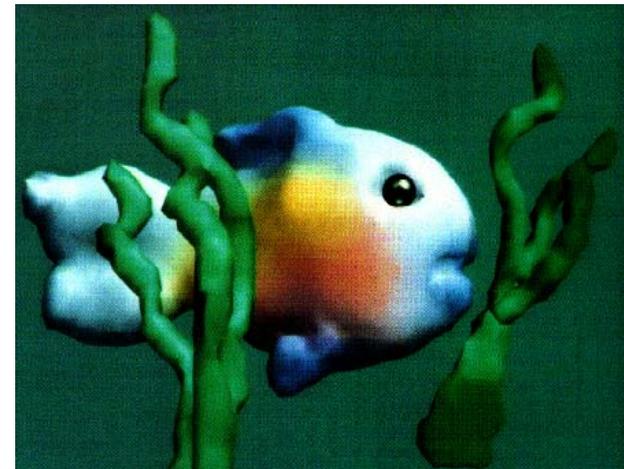
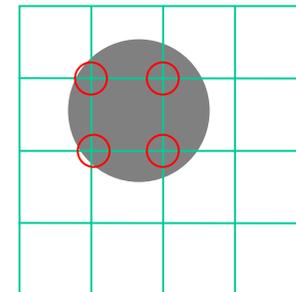
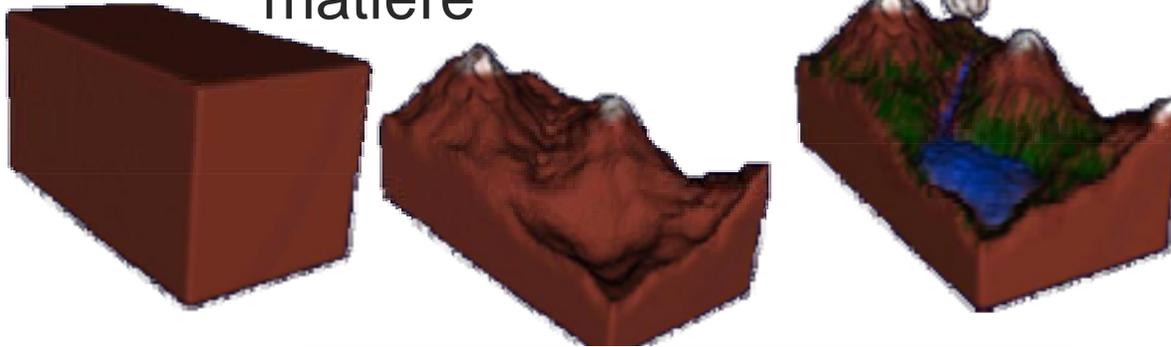
(c)



(d)

# Modélisation Volumique Interactive Sculpture virtuelle

- Potentiel discrétisé dans une grille uniforme
- Ajouter / enlever de la matière

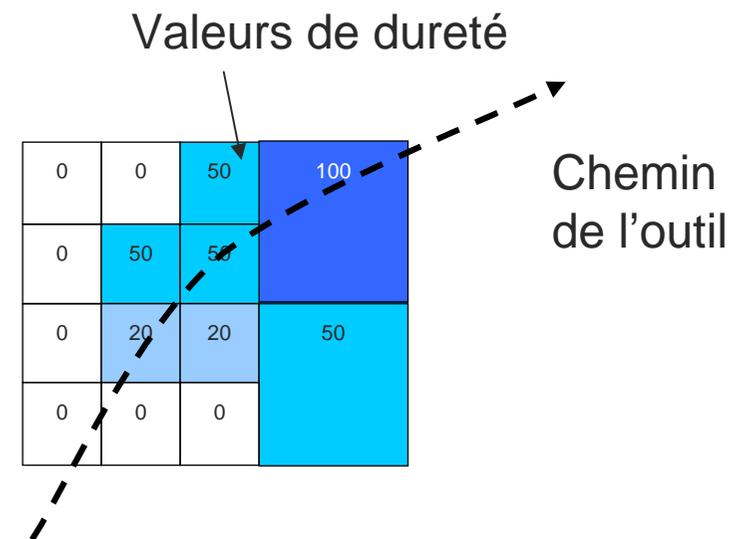
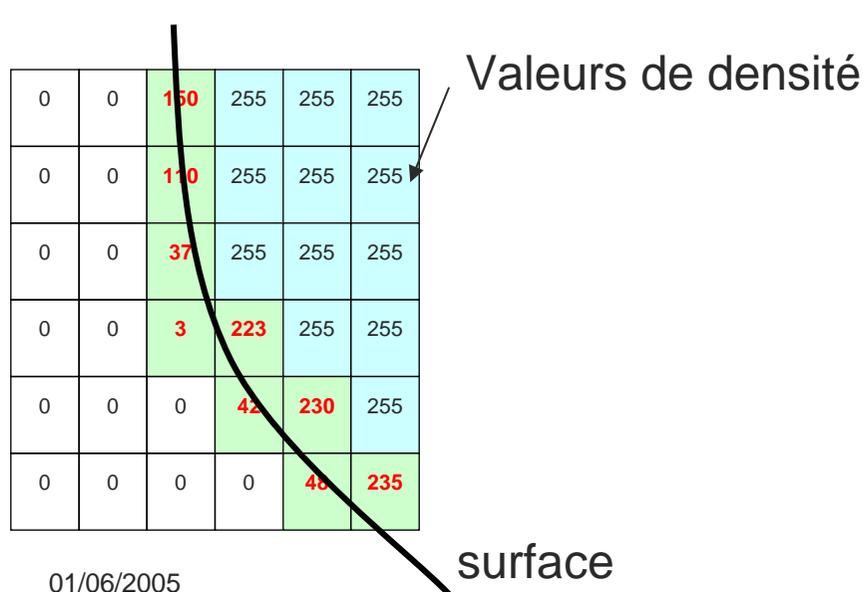


# Modélisation Volumique Interactive Sculpture virtuelle

- Exemple d'interaction outil / Objet
  - Utilisation d'une hiérarchie de cubes (octree)

# Modélisation Volumique Interactive Sculpture virtuelle

- Description de l'objet sculpté
  - Utilisation de niveaux de gris
  - Un seuil définit la localisation de la surface de l'objet
  - Une valeur de dureté est calculée pendant la pénétration de l'outil dans l'objet



# Modélisation Volumique Interactive

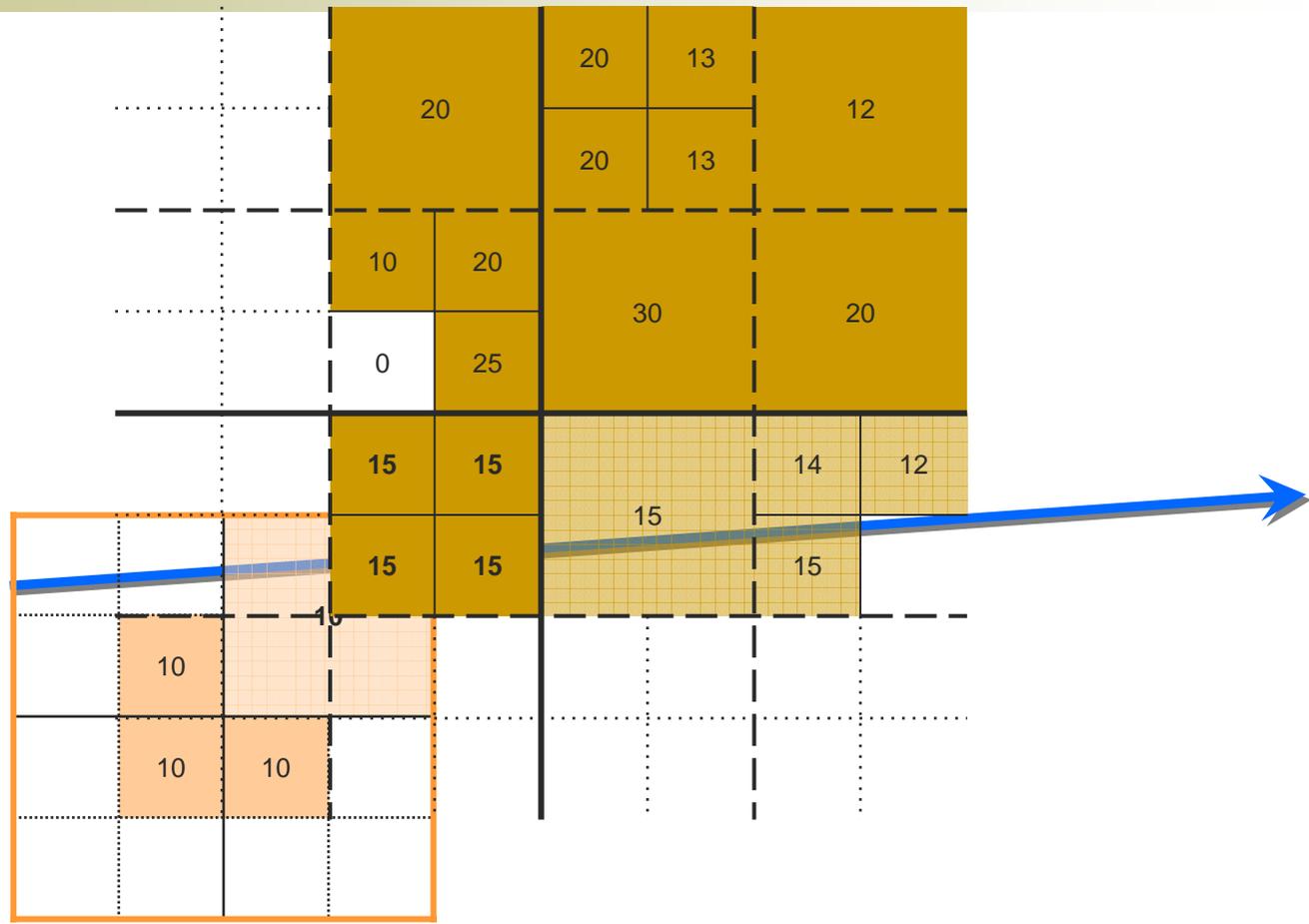
## Sculpture virtuelle

- Description de l'outil et utilisation
  - La description de l'outil est identique à celle de l'objet sculpté
- L'opération de sculpture revient à faire des opérations entre les noeuds de deux arbres octaux

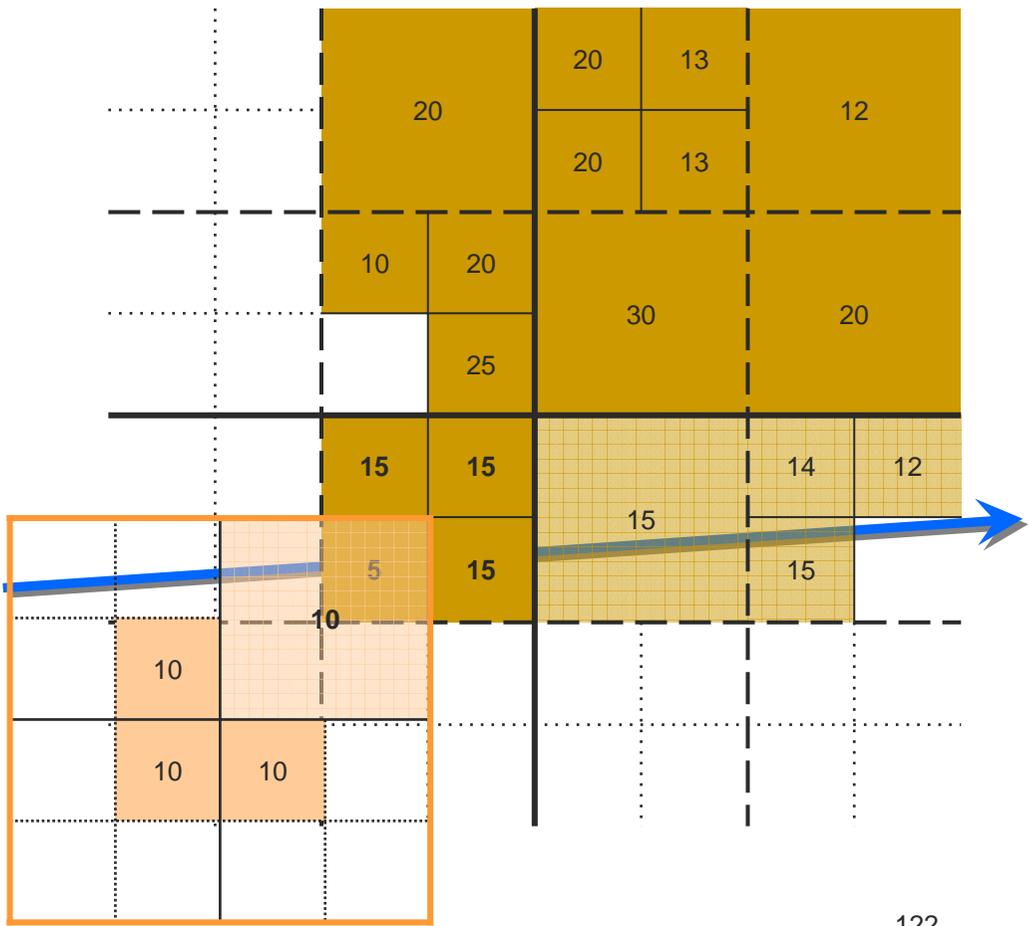
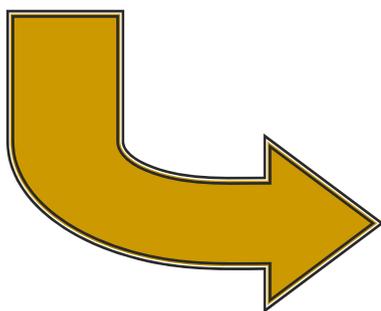
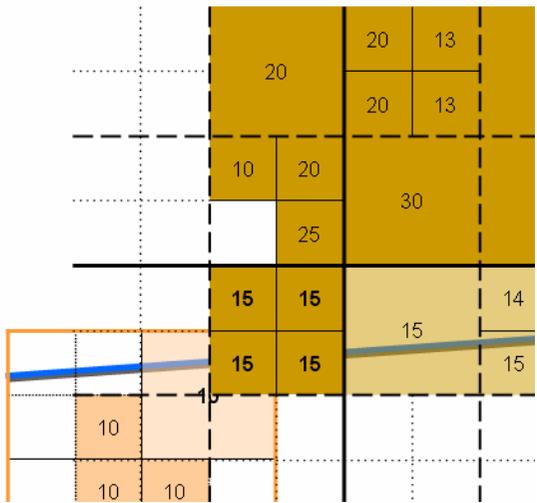




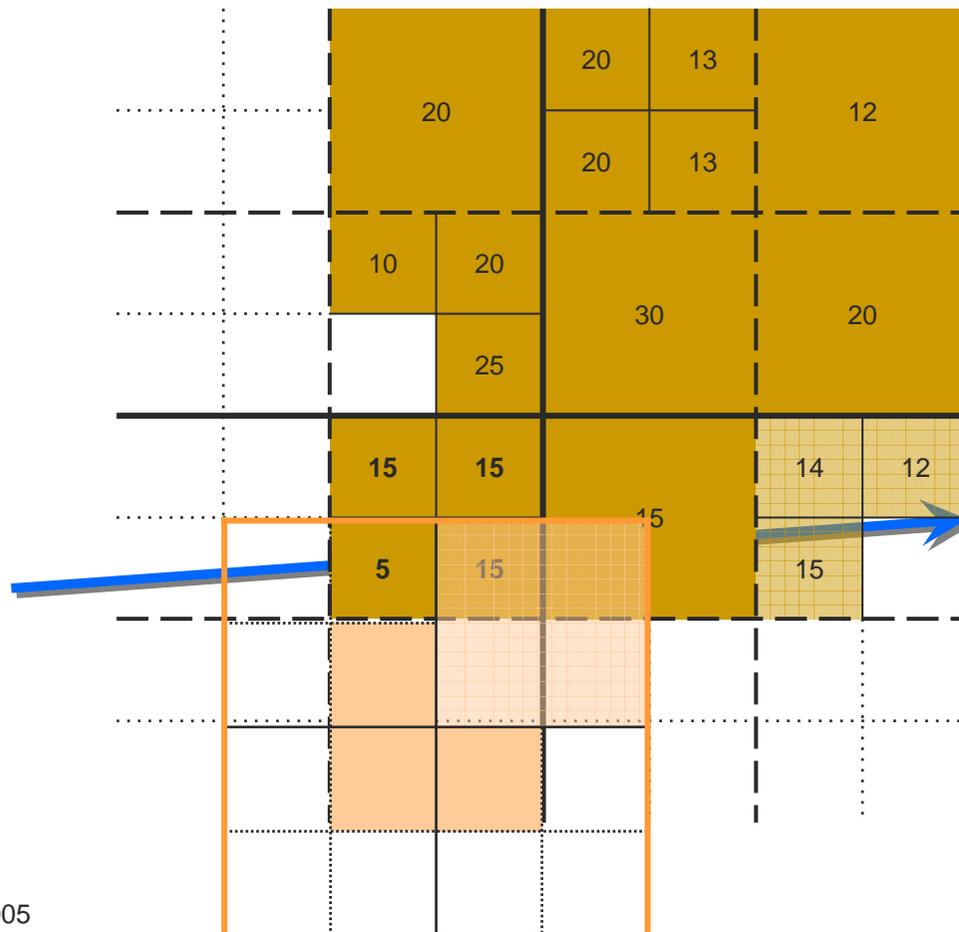
# [ Action de l'outil : raffinement ]



# Action de l'outil : Calcul de la densité



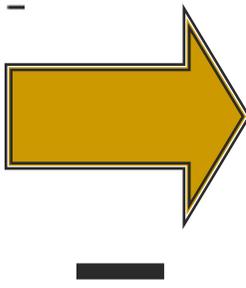
# Action de l'outil : Deuxième mouvement de l'outil



# [ Action de l'outil : Calcul ]

20		20	13	12	
10	20	30		20	
15	15	15		14	12
5	15	15		15	

	10	10
10	10	



20		20	13	12	
10	20	30		20	
15	15	15	15	14	12
5	5	5	15	15	
10	10				
10	10				

# Action de l'outil : 3ème mouvement et calcul

	20		20	13	12	
			20	13		
	10	20	30		20	
		25				
	15	15	15	15	14	12
	5	5	5	15	15	



	20		20	13	12	
			20	13		
	10	20	30		20	
		25				
	15	15	<b>5</b>	<b>5</b>	14	12
	5	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	15	

# [ Action de l'outil : calcul ]

	20		20	13	12	
			20	13		
	10	20	30		20	
		25				
	15	15	5	5	14	12
	5	0	0	5	15	



	20		20	13	12	
			20	13		
	10	20	30		20	
		25				
	15	15	5	0	4	12
	5	0	0	0	5	

# [ Action de l'outil : calcul ]

	20		20	13	12	
	20		20	13	12	
	10	20	30		20	
		25	30		20	
	15	15	5	0	4	12
	5	0	0	0	5	

01/06/2005

	20		20	13	12	
	20		20	13	12	
	10	20	30		20	
		25	30		20	
	15	15	5	0	0	2
	5	0	0	0	0	

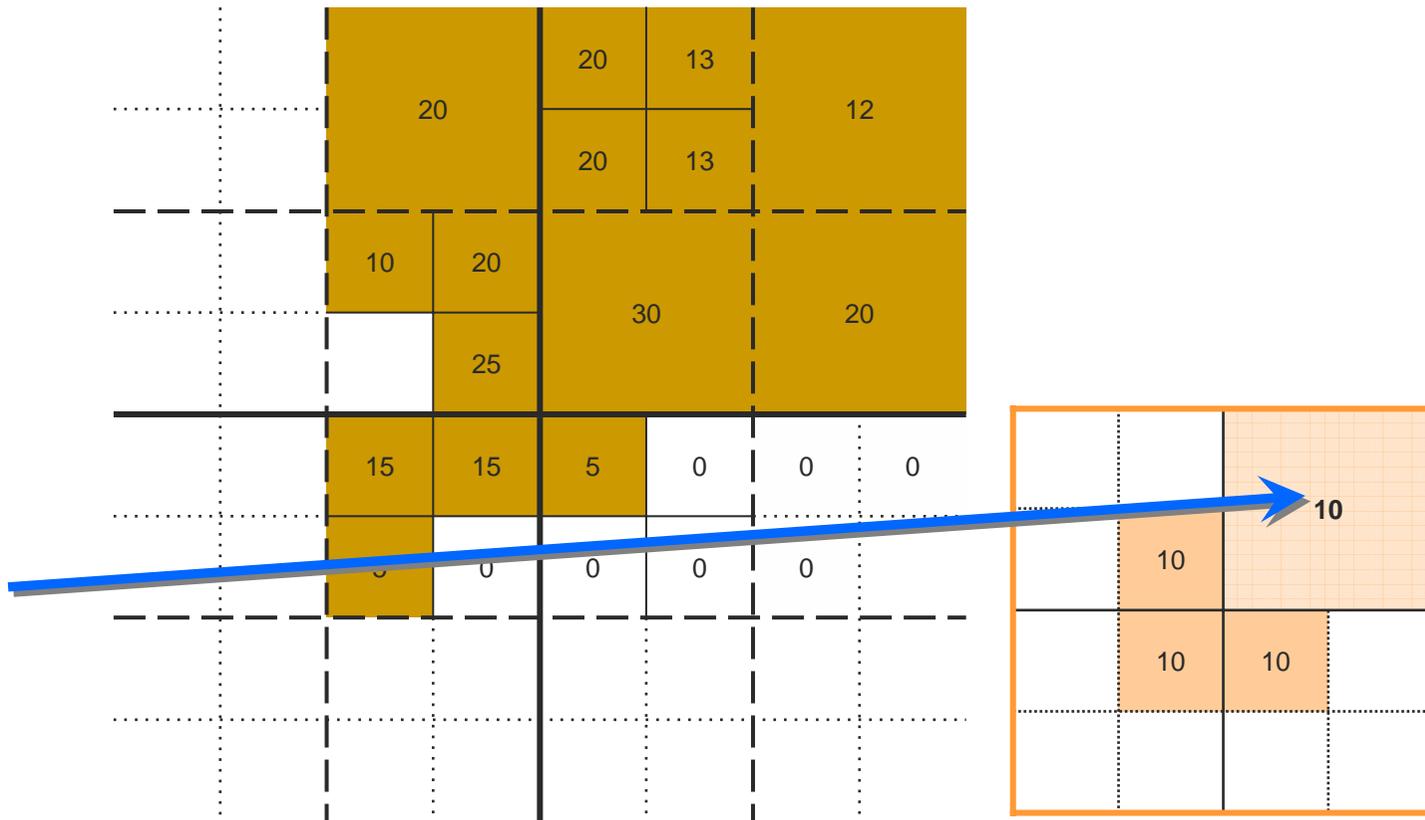
127

# [ Action de l'outil : calcul ]

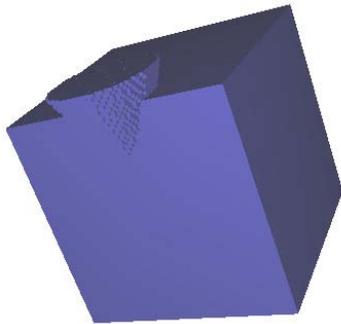
	20		20	13		
	20		20	13	12	
	10	20	30		20	
		25				
	15	15	5	0	0	2
	5	0	0	0	0	

	20		20	13		
	20		20	13	12	
	10	20	30		20	
		25				
	15	15	5	0	0	0
	5	0	0	0	0	

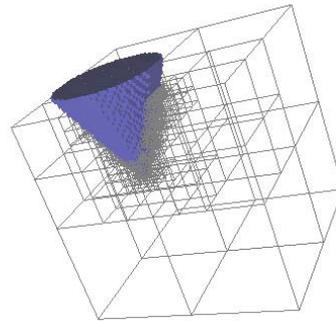
# [ Action de l'outil : Objet final ]



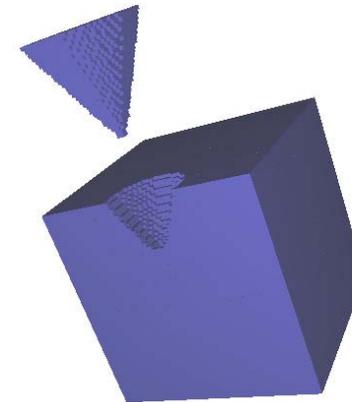
# [ Résultats ]



Interaction Objet / Outils

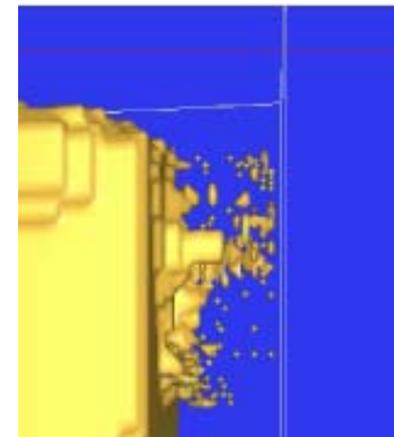


Raffinement de l'octree



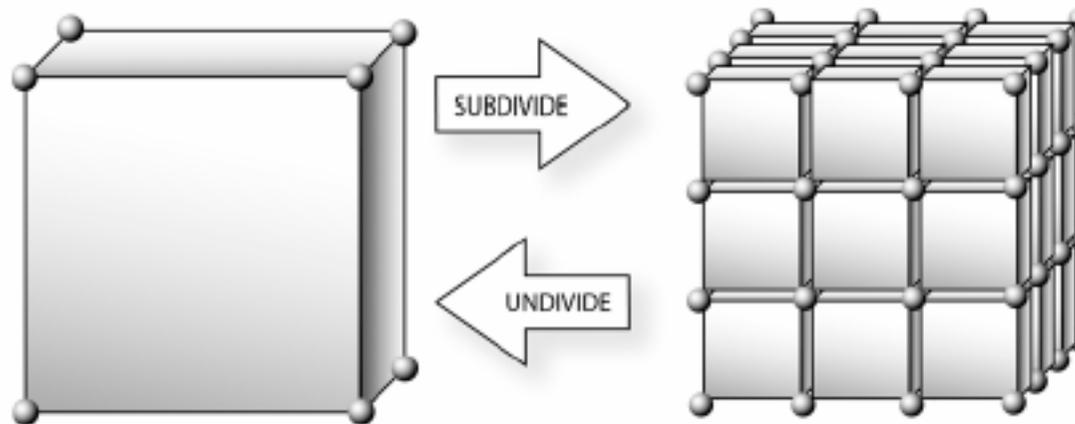
Objet résultat

- Nombre de niveaux
- Ré agglomération de matière
- Taille du volume de départ



# Modélisation Volumique Interactive Sculpture virtuelle

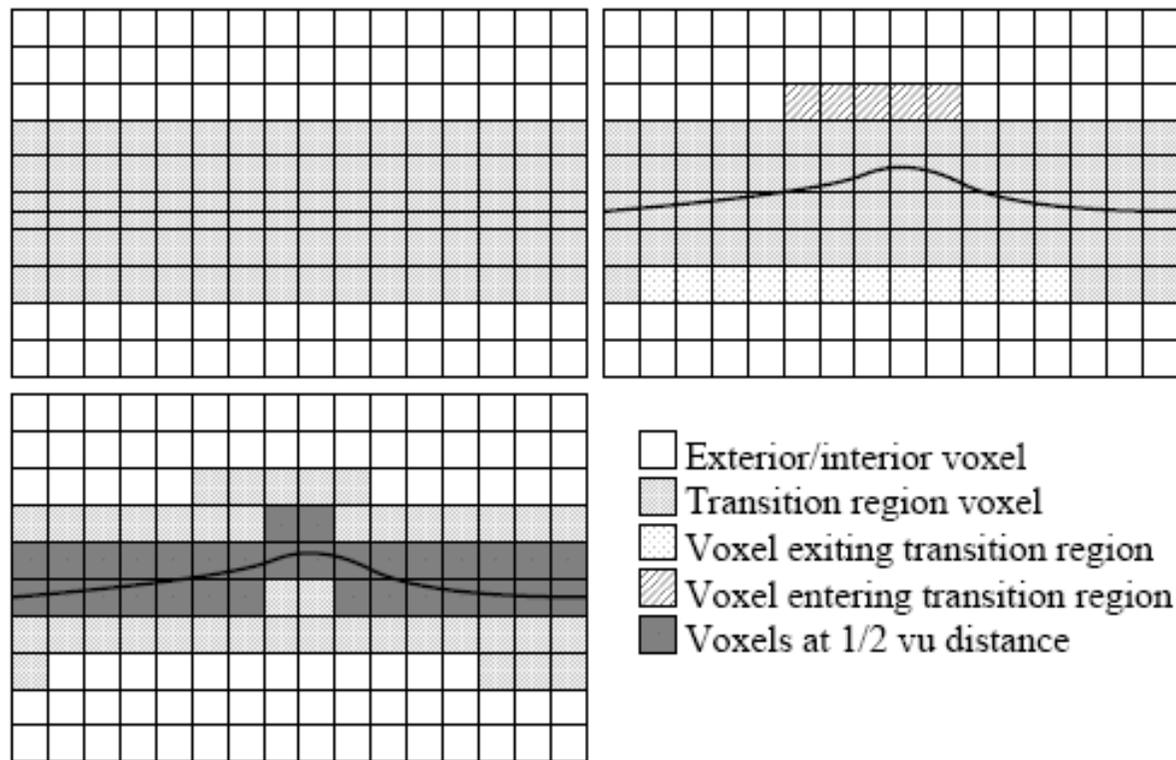
- Réduire encore le nombre de cubes



# Modélisation Volumique Interactive

## Sculpture virtuelle

- Réduire encore le nombre de cubes (Level Set)
  - Volume stocké dans une grille hiérarchique sur deux niveaux.



# [ Modélisation Volumique Interactive Visualisation ]

- Lancer de rayons

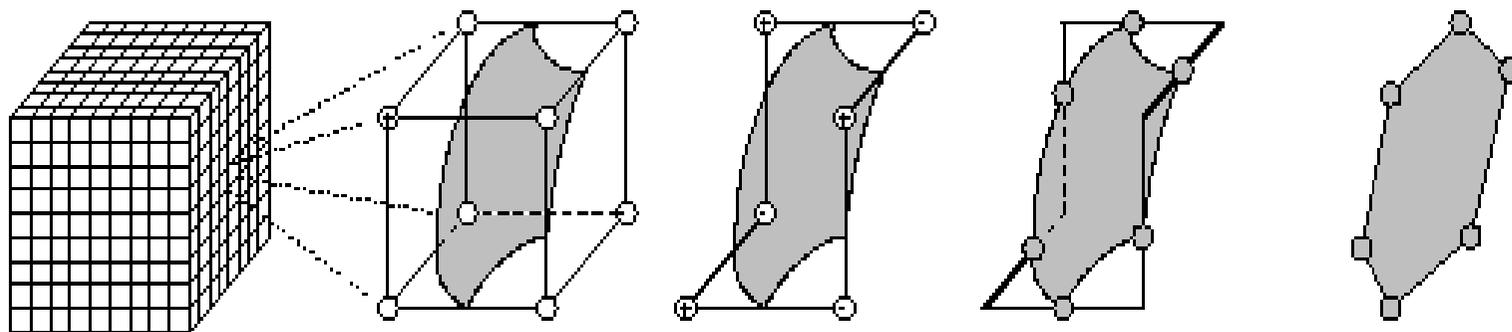
Temps de rendu : qq heures



# Modélisation Volumique Interactive Visualisation

## ■ Marching cubes

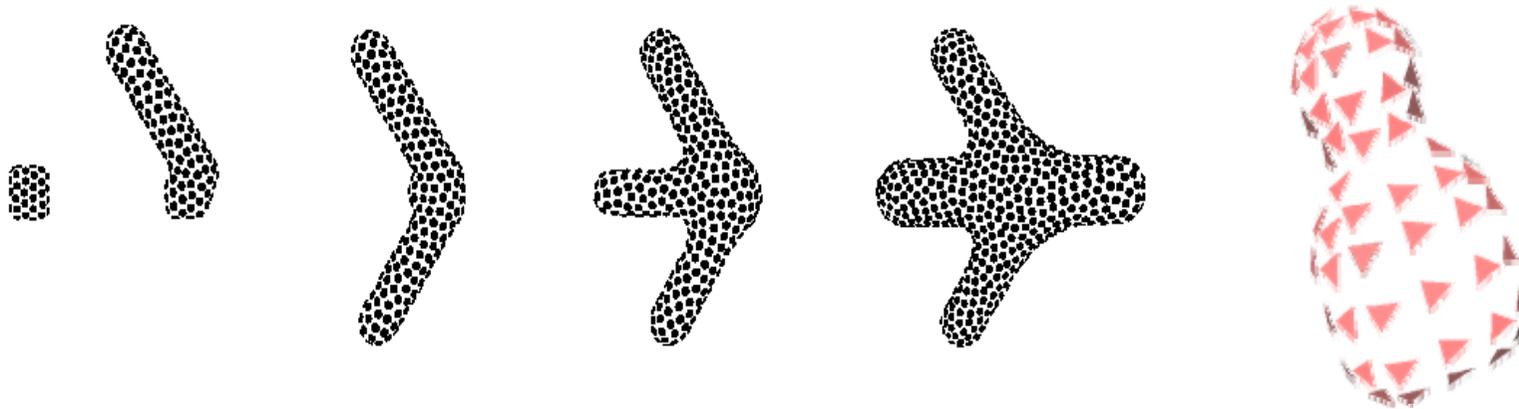
- Polygonisation s'appuyant sur une grille de l'espace
- Possibilité de suivi de la surface (file d'attente)
- Temps de rendu : quelques minutes

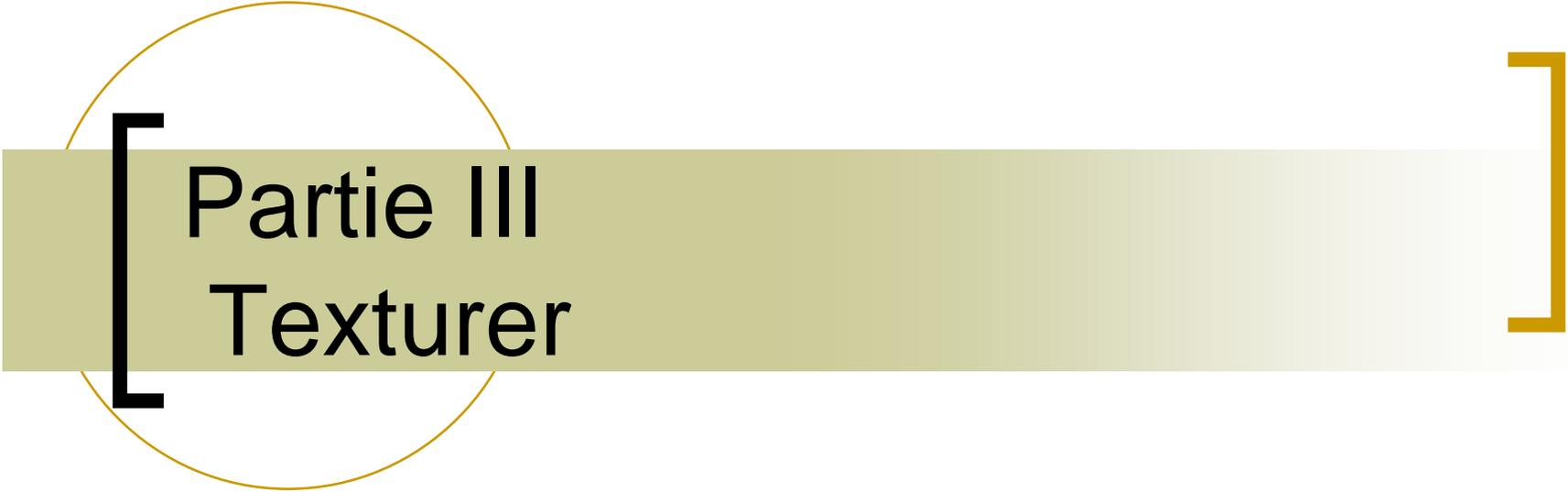


# Modélisation Volumique Interactive Visualisation

## ■ Particules

- Contraintes à rester sur la surface
- Forces d'attraction répulsion
- Vie et mort pour garder un échantillonnage uniforme



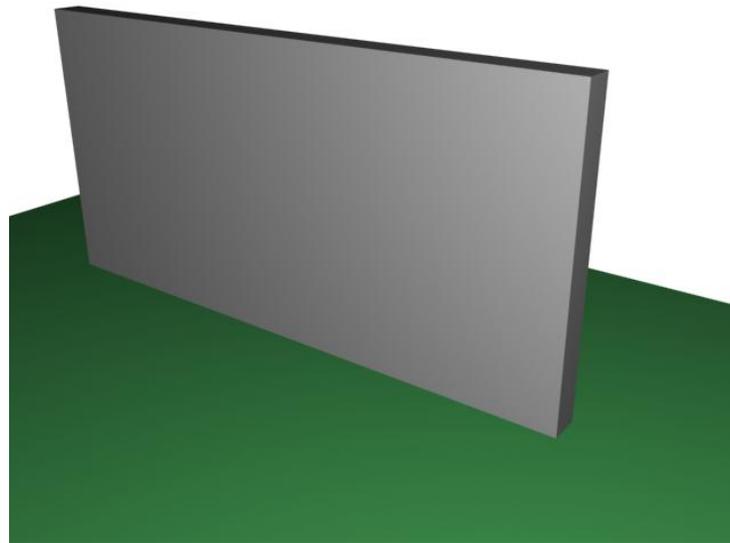


# Partie III Texturer

# [ Problématique ]

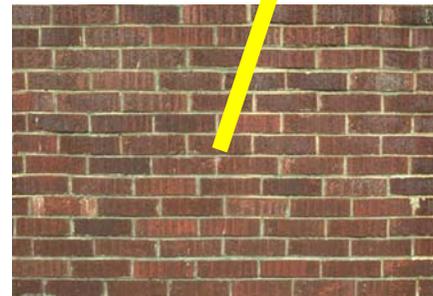
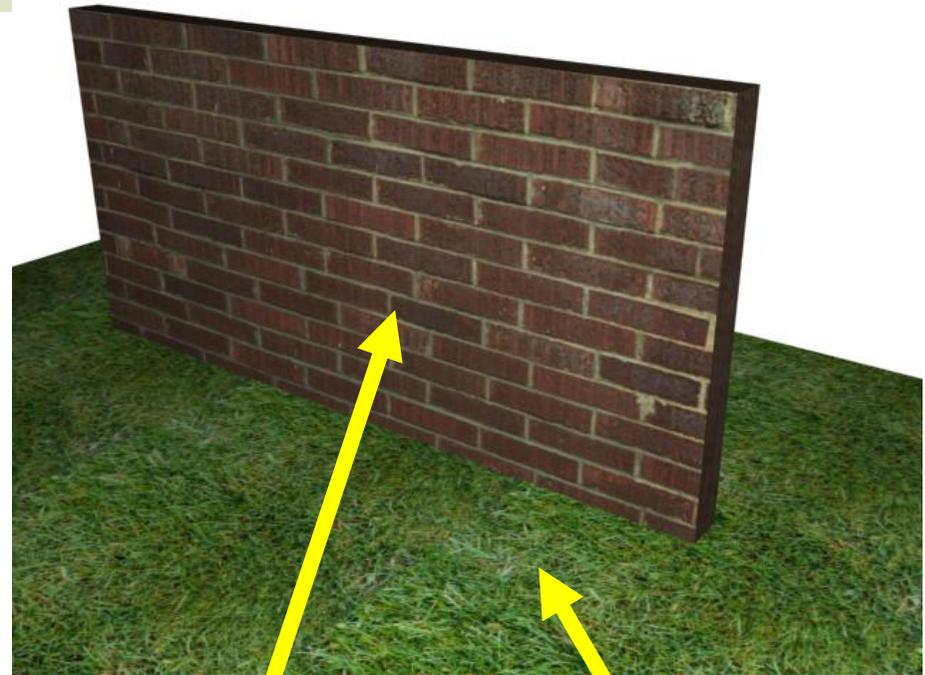
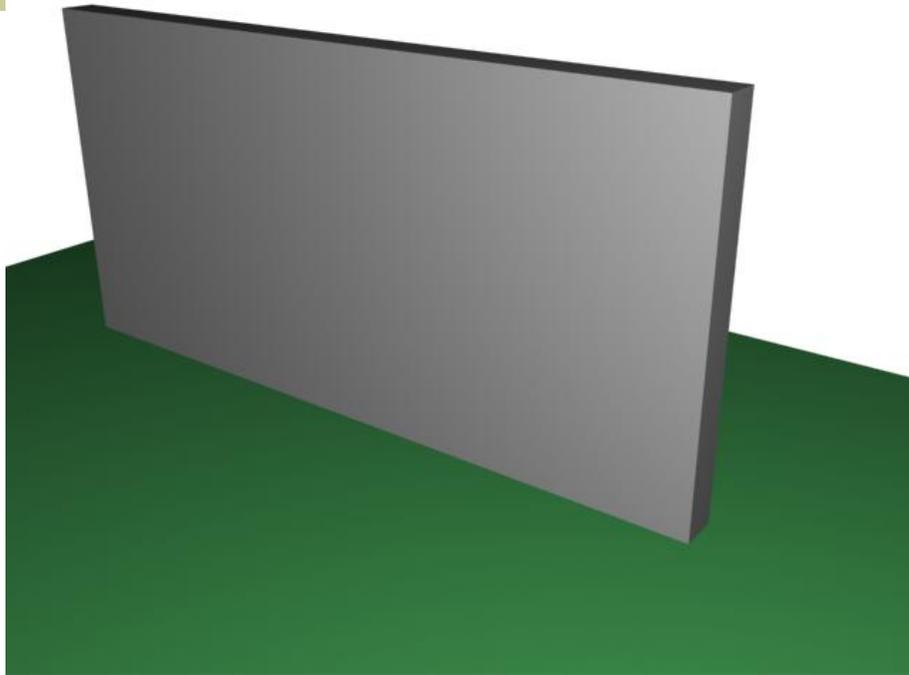
---

Modèle de Phong : prise en compte des interactions lumière/matière, mais ce n'est pas suffisant.



*Manque de réalisme d'une scène n'utilisant que le modèle d'illumination de Phong.*

Solution : utilisation de textures.



## Plaquage de textures (« *texture mapping* »)

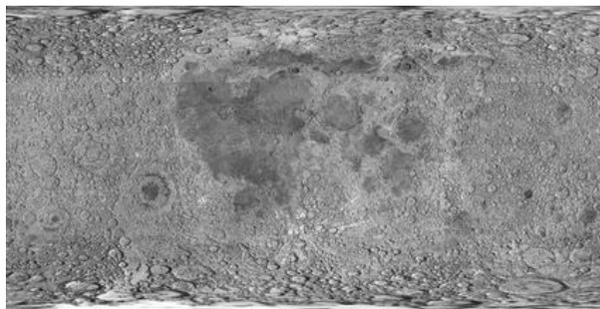
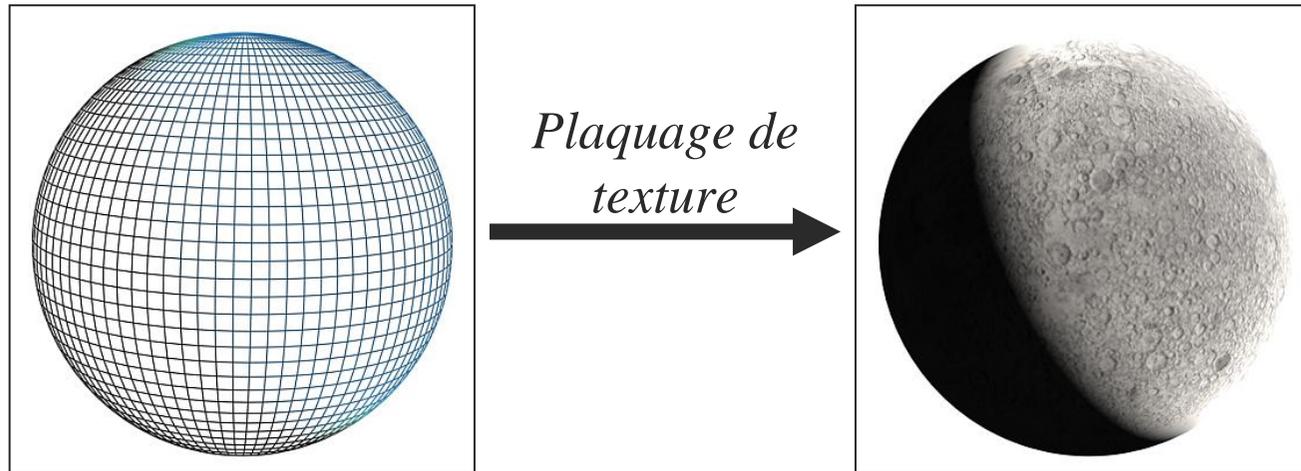
→ Plaquage d'images 1D, 2D ou 3D sur des primitives géométriques.

### Objectifs

- Simuler des matériaux (pierre, bois, ...)
- Réduire la complexité (nb de polygones) d'objets 3D
- Simulation de surfaces réfléchissantes
- ...

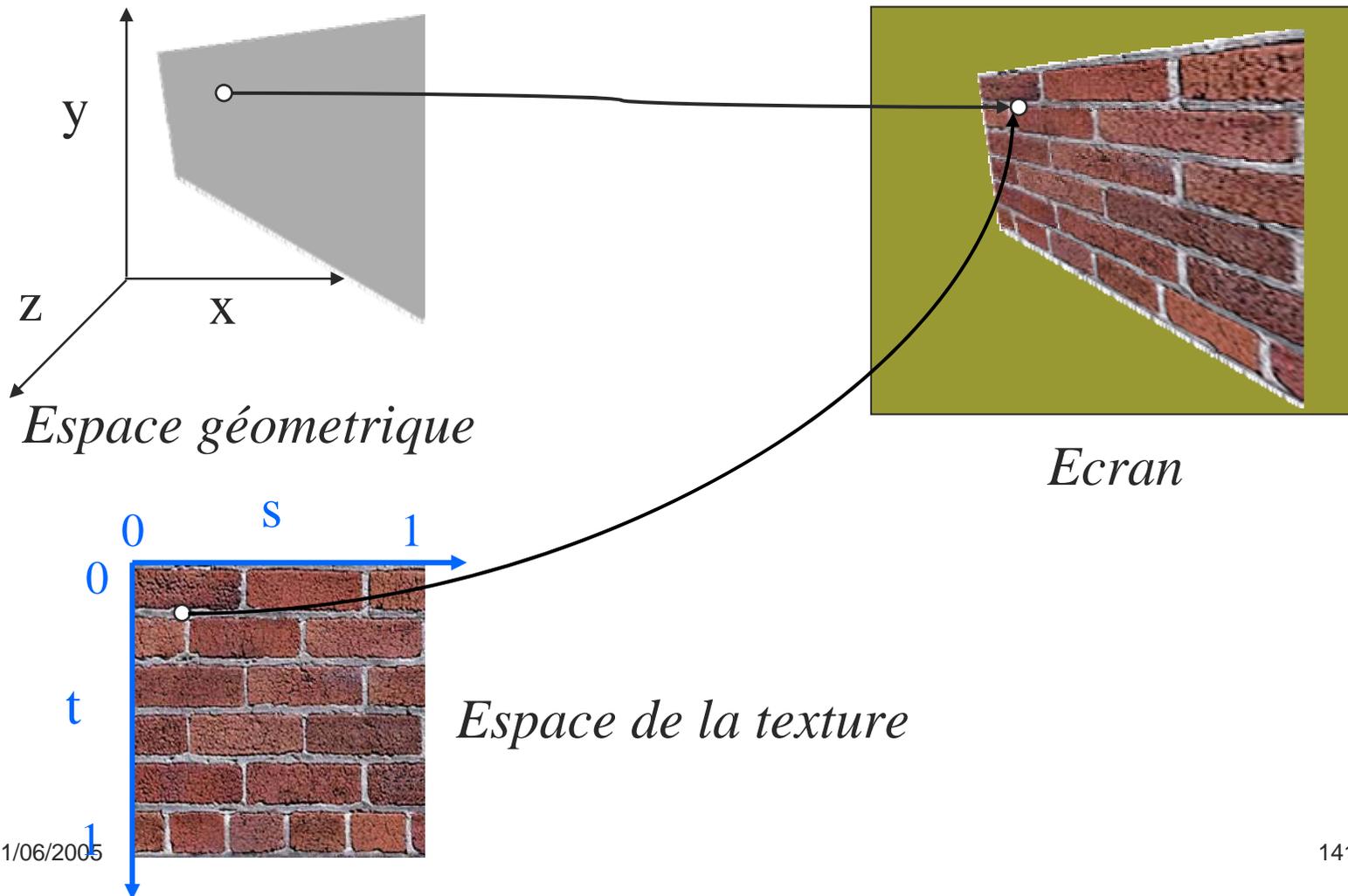
## Exemple : plaquages plus complexes

On utilise souvent un logiciel de modélisation 3D (*3DS Max*, *Maya*, etc.), qui calculera automatiquement les coordonnées de texture selon un mode de projection de la texture sur l'objet (ici, projection sphérique).



*Texture utilisée*

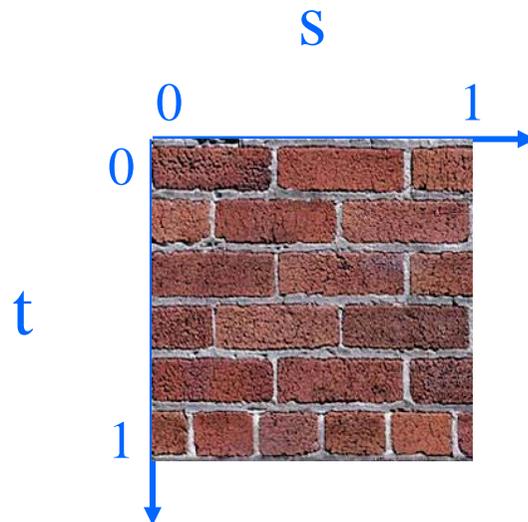
# Principe du plaquage de texture



# Principe du plaquage de texture

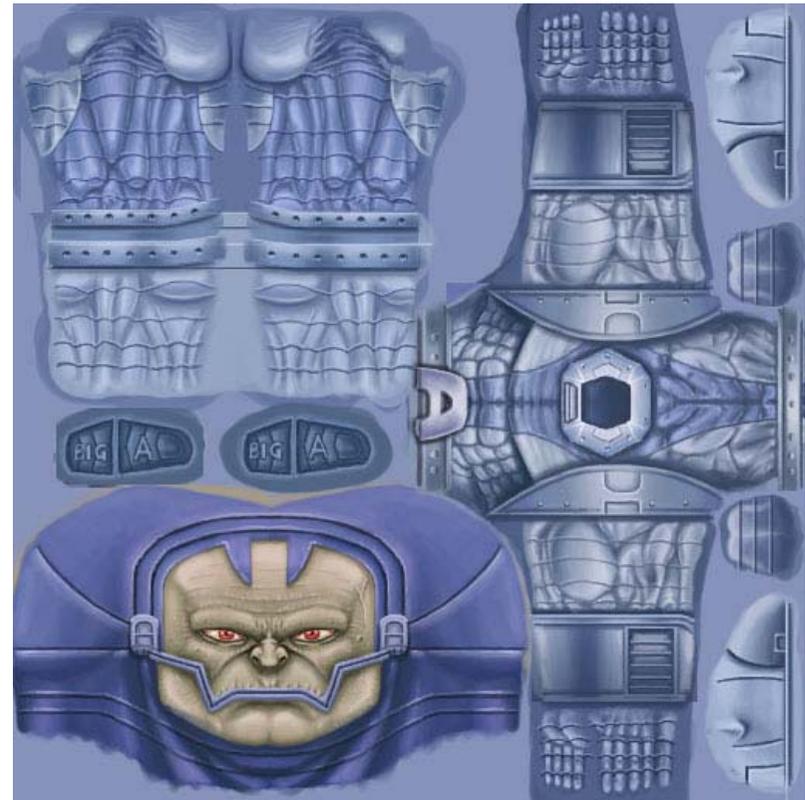
Les textures sont des images qui peuvent être en 1D, 2D, 3D ou 4D. Les coordonnées de l'image sont notées  $s$ ,  $t$ ,  $r$ ,  $q$ .

Ex: pour une texture 2D, un point dans l'image est donné par ses coordonnées  $(s,t)$ , le coin supérieur gauche étant  $(0,0)$  et le coin inférieur droit étant  $(1,1)$ .



# Principe du plaquage de texture

**Notes :** On regroupe souvent les textures d'un même objet dans une seule image → accélère l'affichage en évitant de changer de texture.



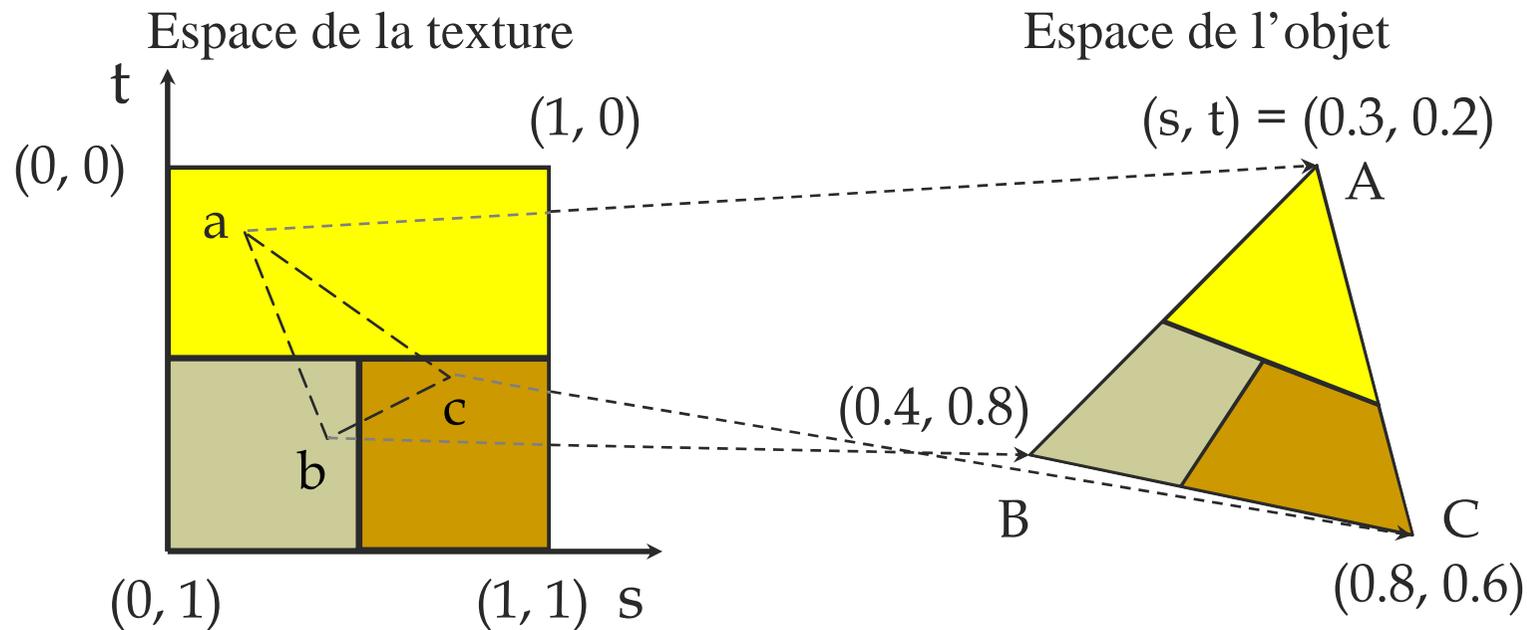
# Utilisation des textures dans OpenGL

## 3 étapes :

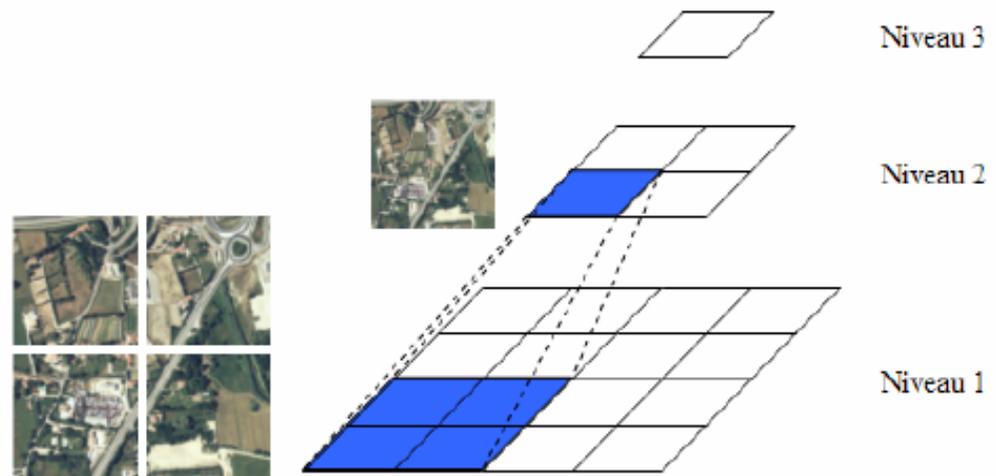
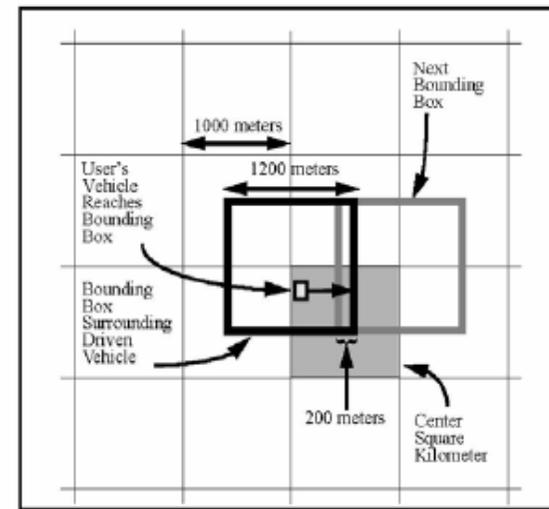
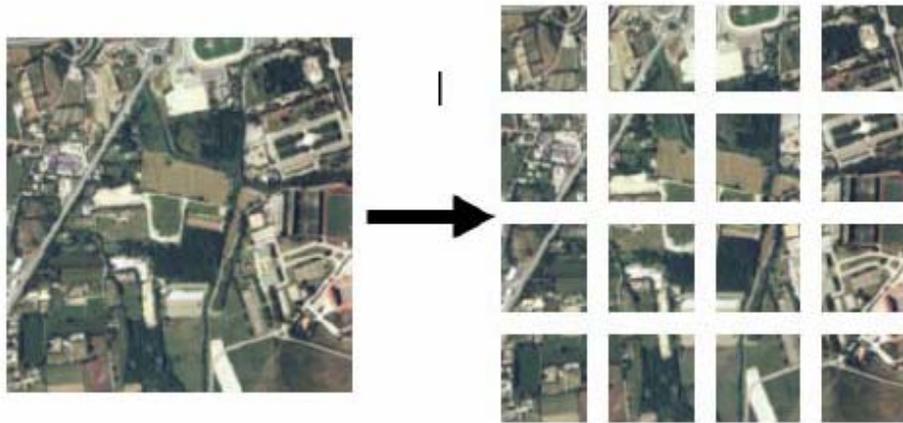
1. Spécifier la texture
  - 1.1 Lire ou générer une image
  - 1.2 En faire une texture
  - 1.3 Activer le plaquage de texture
2. Assigner les coordonnées de texture aux points de l'objet 3D
3. Spécifier les paramètres de textures
  - Wrapping, filtering, ...

# Assigner les coordonnées de texture aux points de l'objet 3D

Pour plaquer une texture sur un objet géométrique, fournir les coordonnées de texture (normalisés entre 0 et 1).

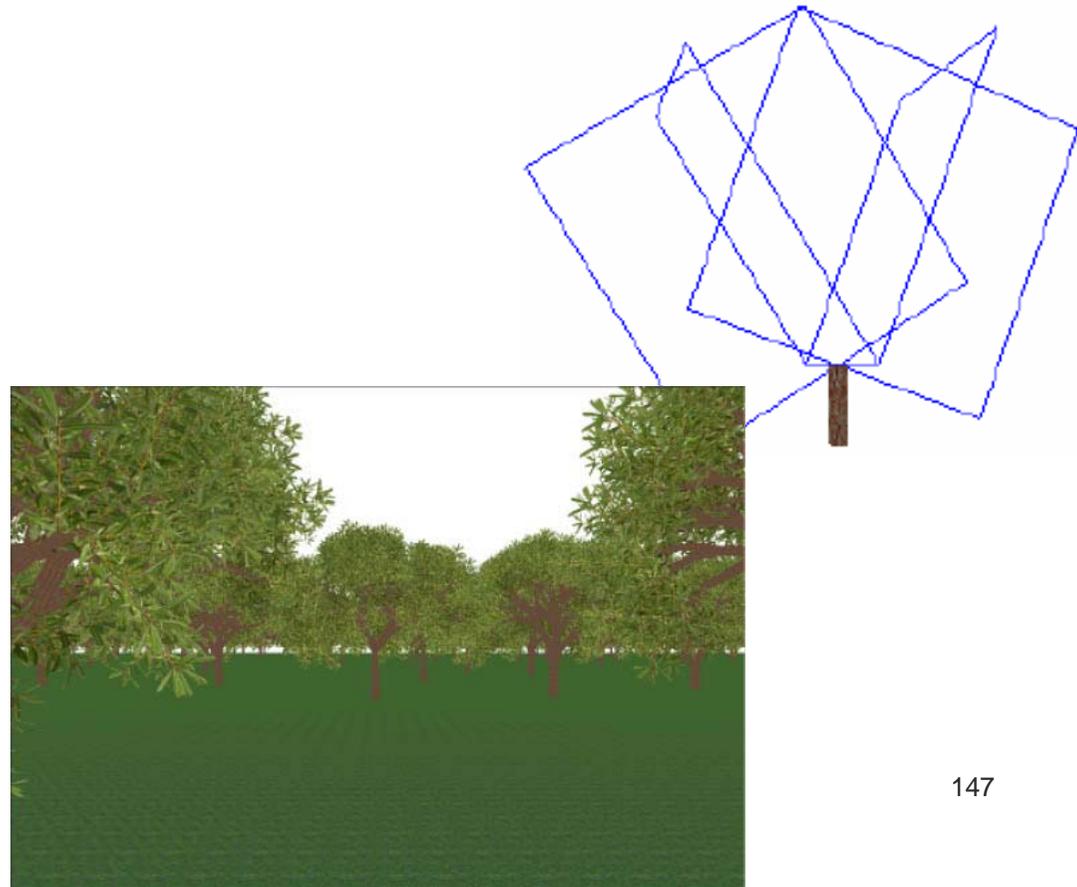
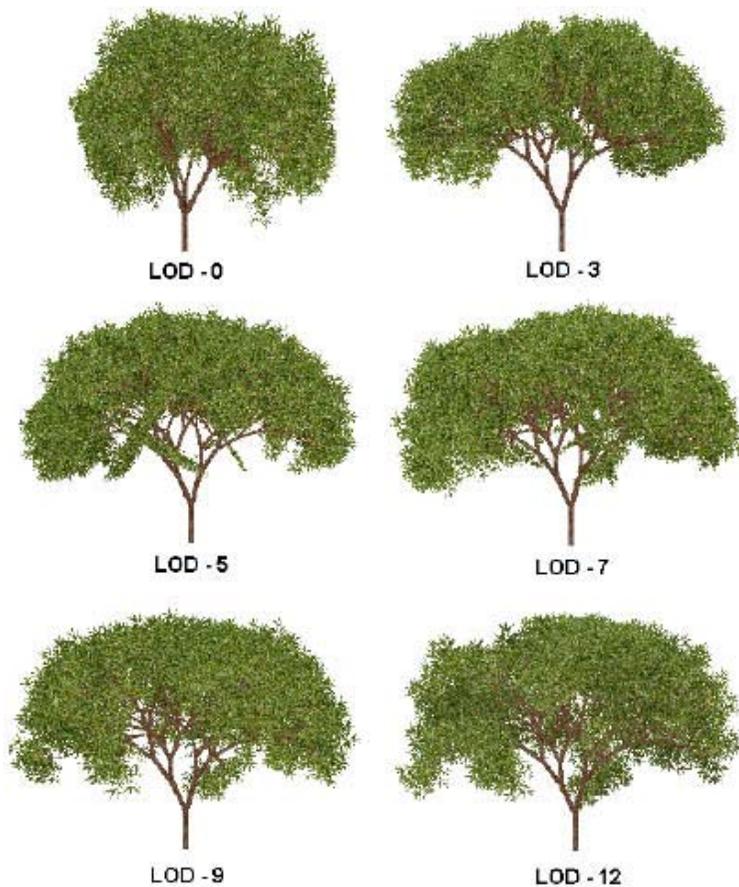


# Visualisation de surfaces interactives



# Arbres

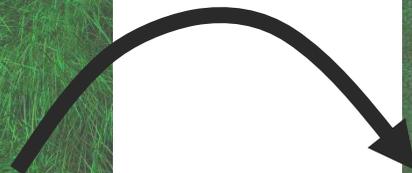
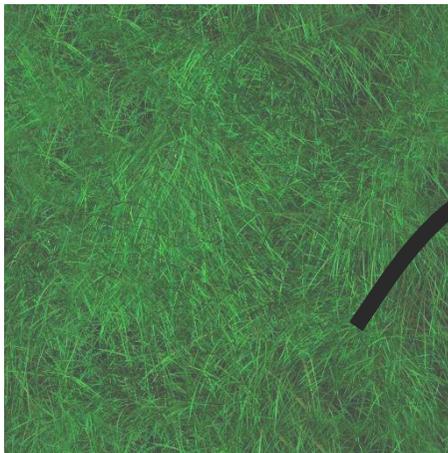
**1ère technique** : arbres représentés avec plus ou moins de facettes et de quadrilatères texturés.



## Herbe

Scène comportant de l'herbe : plusieurs millions de brins  
→ impossible de les représenter tous de manière géométrique.

Un simple plaquage de texture 2D n'est pas suffisamment réaliste → il faut une solution intermédiaire.



# Herbe



*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>

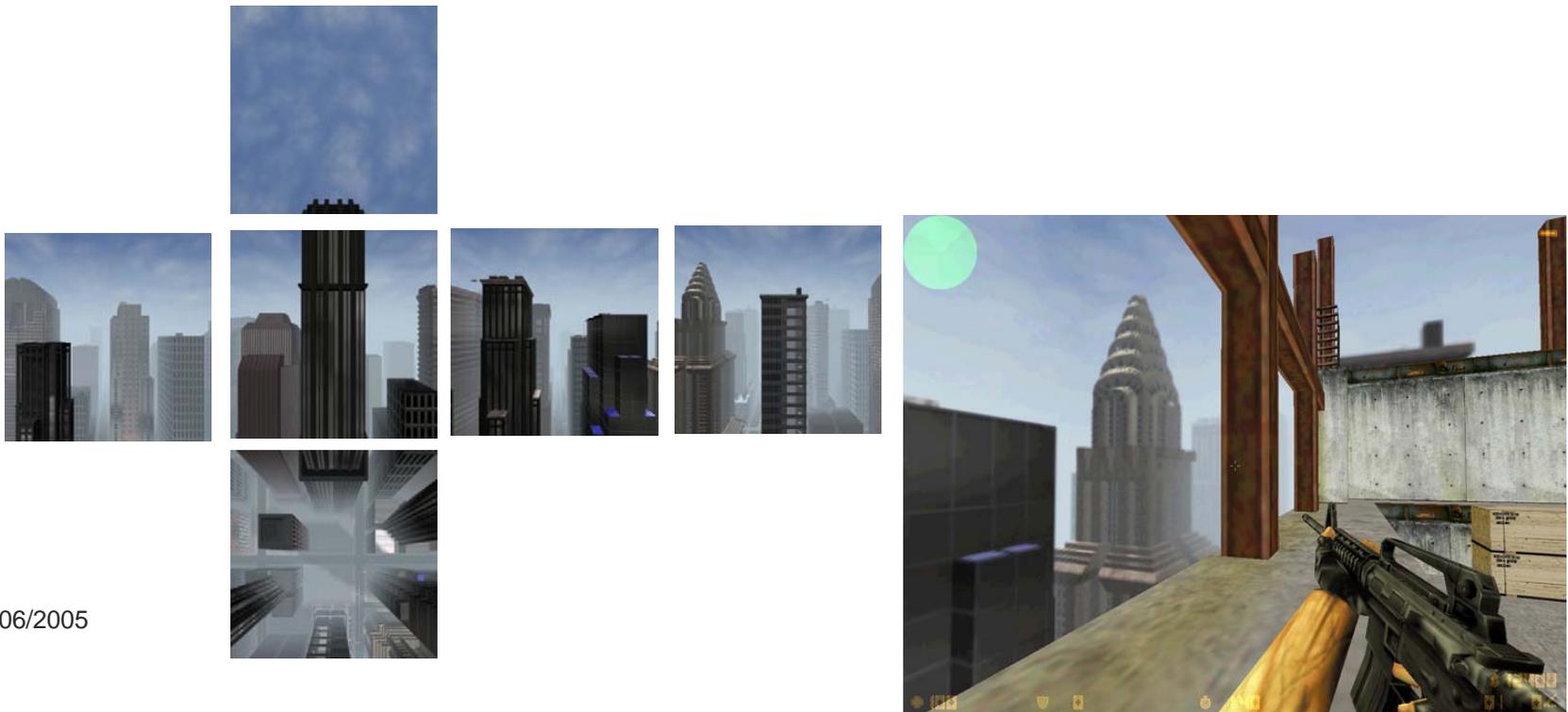
## Simplification de scène

Ces méthodes cherchent à simplifier des régions de la scène plutôt que les objets eux-mêmes.

Utilisé pour la visualisation de très grandes scènes virtuelles (villes).

## Exemple : « Skybox »

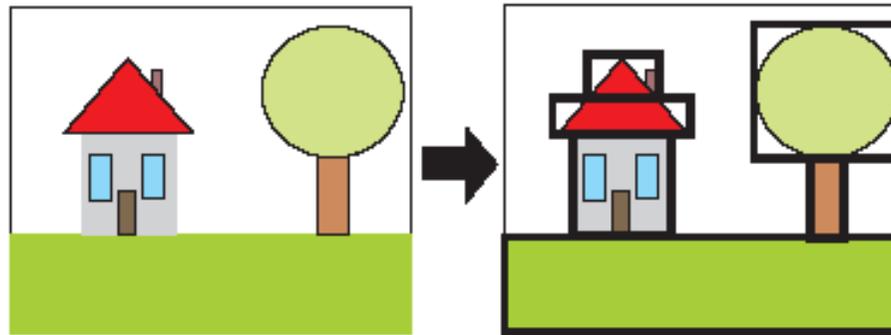
Simule un ciel (sky) avec un cube (box) sur les 6 faces internes duquel on plaque des textures. L'observateur reste toujours au centre du cube. Très utilisé dans les jeux (Quake, Half-Life, Call of Duty, ...)



01/06/2005

# Villes

On positionne dans la scène un ensemble de polygones sur lesquels on plaque une texture provenant du rendu de la géométrie que l'on veut simuler.



## Problèmes :

- Comment déterminer les zones de géométrie à remplacer par cette technique ?
- Transition entre le trompe-l'œil et la véritable géométrie lorsque le point de vue se déplace.

01/06/2005

# [ Bibliographie ]

---

- Introduction à l'infographie- Foley- Van Dam- Feiner- Hughes- Philips (Addison Wesley)
- Cours DEA MP Cani – Evasion
- Cours LP et DUT Informatique Sébastien Thon, Gilles Gesquière
- Thèse d'Eric Ferley
- Travaux de Thèses de Xavier Heurtebise