

## Synthèse d'Images

Elmar Eisemann

[Elmar.Eisemann@inrialpes.fr](mailto:Elmar.Eisemann@inrialpes.fr)

## Modélisation Géométrique

Basées sur le cours de

Joëlle Thollot

Xavier Décoret

DEA IVR 2004

### Spécificité du graphisme

- Deux types d'objets à modéliser
  - des objets virtuels / inventés
  - les objets réels
- Plusieurs modes de création
  - **interactive** par des graphistes
  - **automatique** à partir du réel
    - scanner 3D, données médicales, etc...
  - **procédurale**
    - scènes complexes, terrain, etc...
  - Ou un mélange de ces modes...
- Différentes utilisations
  - affichage, animation, simulation physique, etc...

### Évaluation d'un modèle (1/2)

- Adéquation à la tâche
  - Création simple
  - Opérations rapides
  - ex: pour l'animation
    - modèles déformable
    - points de contrôles
    - squelettes d'animation
- Propriétés mathématiques
  - Complétude et clôture
  - Non ambiguïté et unicité
  - Compacité

### Évaluation d'un modèle (2/2)

- Adéquation avec les possibilités matérielles
  - Polygones, points, lignes
  - Textures
  - *Display lists*, *Vertex buffers*
  - *Vertex programs*, *Fragment programs*
- Possibilités d'accélération
  - Intrinsèque ou en post-traitement
    - problème de la conversion entre modèles
  - Structure hiérarchique
  - Instanciation
  - Niveaux de détails

### Les modèles géométriques

- Modèles **non structurés**
  - points
  - soupe de polygones
- Modèles **surfacciques**
  - maillages
  - surfaces paramétriques
  - surfaces de subdivision
  - surfaces implicites
- Modèles **volumiques**
  - octrees
  - CSG
- Modèles **procéduraux**
  - Fractales
  - Grammaires / L-systems
  - Système de particules
- Modèles **à base d'images**
  - acquisition
  - rendu

## Nuages de points

- Modèles obtenus
  - par digitalisation manuelle ou par scanner
  - par reconstruction à partir d'images
  - par échantillonnage d'un autre modèle

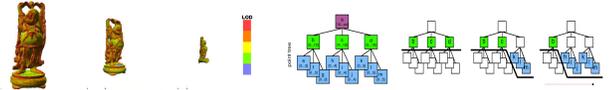


## Nuages de points

- Modèles obtenus
  - par digitalisation manuelle ou par scanner
  - par reconstruction à partir d'images
  - par échantillonnage d'un autre modèle
- Avantages
  - “naturels” i.e. conception atomiste
  - simples à afficher
  - théorie puissante pour l'antialiasing
  - rendu adaptatif



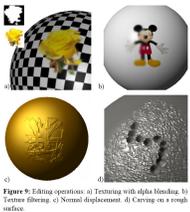
Surface Splatting [Zwicker01]  
Sequential Point Tree [Dach03]



## Nuages de points

- Inconvénients
  - coût mémoire
  - difficilement éditable
  - **Quelle est la normale ?**

PointShop 3D [Zwicker01]



Boolean Operations [Adams03]

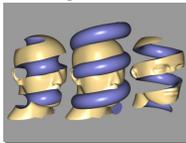
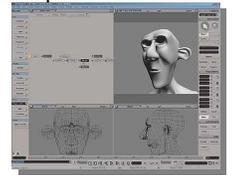


Figure 9: Editing operations: a) Texturing with alpha blending, b) Texture filtering, c) Normal displacement, d) Carving on a rough surface

## Soupe de polygones

- Ensemble non structuré de facettes
- Dénominateur commun de beaucoup de modèles
  - c'est souvent tout ce qui reste après export!
- Avantages
  - Représentation native de OpenGL
  - Nombreux logiciels d'édition
- Inconvénients
  - édition fastidieuse
  - opérations autre que affichage impossibles
  - **Quels sont les voisins d'un sommet ? Pouvons-nous avoir des normales lisses ?**

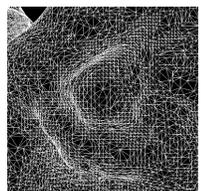


## Modélisation surfacique

- Maillages
- Surfaces paramétriques
- Surfaces de subdivision
- Surfaces implicites

## Maillages (1/2)

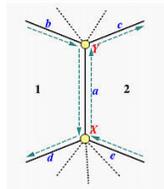
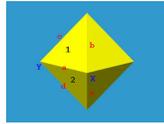
- Ensemble **connecté** de polygones
  - triangles, quads, polygones convexes
- Modèle “riche”
  - encode la forme et la topologie
- Affichage facile en OpenGL
  - bon pour les surfaces “planes”
  - mauvais pour les surfaces courbes
- Autres calculs possibles
  - normales, courbures, paramétrisation
  - simplification
- Édition fastidieuse (mais mieux qu'un soupe de polygones)



Applied Geometry : Discrete Differential Calculus for Graphics [Desbrun04]

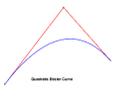
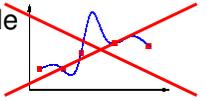
## Maillages (2/2)

- Représentation par graphe d'adjacence
  - décrit la topologie
  - représentation compacte
    - coordonnées des sommets stockées une fois par face
    - parcours intelligent possible (strips)
- Winged Edge Structure
  - représentation par demi-arêtes
  - notion d'orientation
  - ne marche que pour les *manifold* avec frontières éventuelles

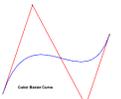


## Surfaces paramétrées

- Courbes et surfaces de formes libres
- Définition par des points de contrôle
  - pas de polynôme de haut degré
    - forme imprévisible et pas souhaitable
    - influence globale de chaque point (instable)
  - plutôt un contrôle local
    - on construit des patches qui ne dépendent que des points voisins...
    - ...et qui sont des polynômes de faible degré
    - on s'arrange pour que les patches se raccordent de façon  $C^1$  ou plus



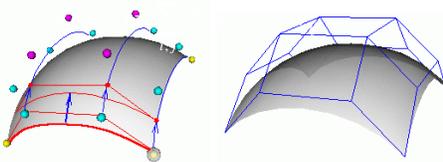
quadratic



cubic

## Surface splines (1/2)

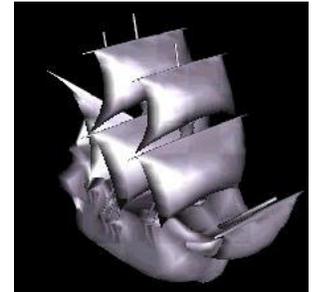
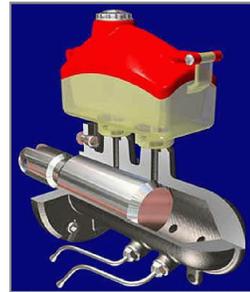
- Produit tensoriel de 2 courbes splines



- Jonction  $C^1$  ou  $C^2$  de carreaux polynomiaux

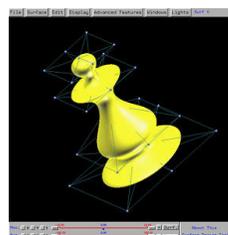
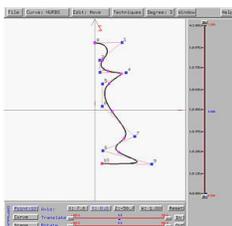
## Surfaces splines (2/2)

- Exemples



## Constructions élémentaires (1/3)

- Surfaces de révolution
  - profil en 2D
  - rotation autour d'un axe de symétrie
    - Avec duplication des points de contrôle autour l'axe!



## Constructions élémentaires (2/3)

- Extrusion (cylindres généralisés)
  - profil en 2D
  - extrusion le long d'un chemin

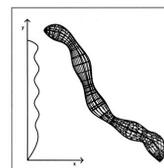


Figure 8. The profile curve and the swept surface around the path.

[Coquillard 87]



[van Wijk 84]

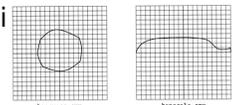
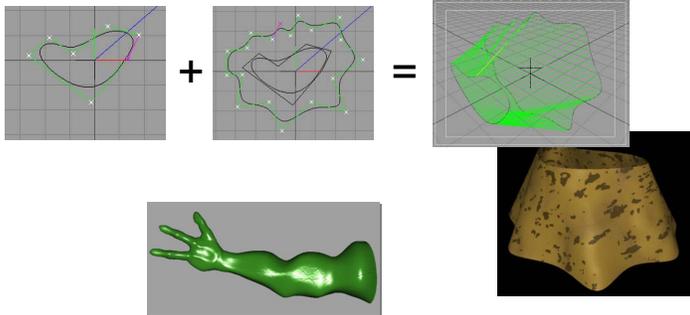


Figure 3.8. Banana example. A banana is represented by an affine transformation surface. The ellipse section is warped, translated along a curve  $-1$  to  $1$ , and rotated around the  $y$  axis.

[Snyder 92]

## Constructions élémentaires (3/3)

- Loft
  - enveloppe d'une suite de sections planes

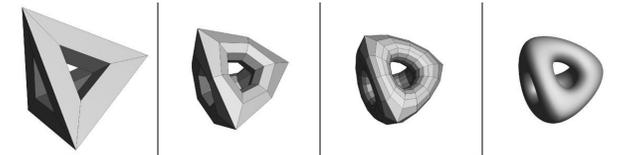


## Surfaces paramétrées: bilan

- Facile à éditer
  - adapté à la création
  - disponibles dans tous les éditeurs
- Paramétrage direct
  - pour le texturage
  - pour la triangulation
- Propriétés différentielles directes
  - normale, courbure, etc...
- Convertible en maillage pour le rendu
  - Tessellation ...

## Surface de subdivision

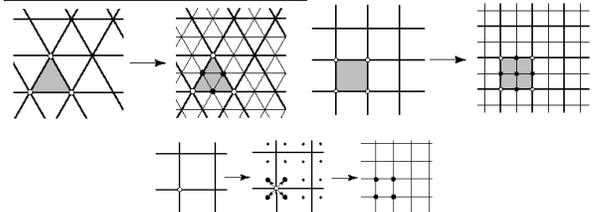
- Surface lisse
  - possibilité de discontinuités
- Limite d'une séquence de raffinements
  - NewControlMesh = F(OldControlMesh)
  - on choisit jusqu'où on va!
    - globalement et localement



## Surface de subdivision

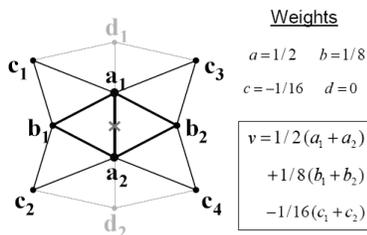
- Catalogue de schémas existants

Face split	Triangle	Carre	Vertex split
Approxime	Loop (C <sup>2</sup> )	Catmull-Clark (C <sup>2</sup> )	Doo-Sabin, Midedge (C <sup>1</sup> )
Interpole	Mod. Butterfly (C <sup>1</sup> )	Kobbelt (C <sup>1</sup> )	Biquartic (C <sup>2</sup> )



## Surface de subdivision

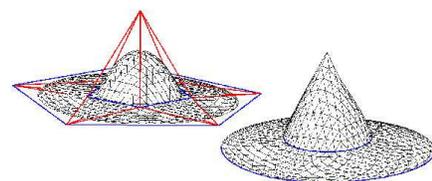
- Exemple : *Modified Butterfly*



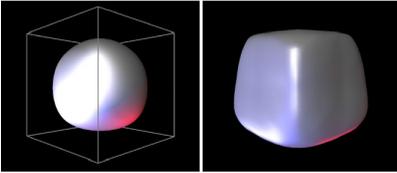
- Case 1: two regular vertices

## Surface de subdivision

- Exemple : *Modified Butterfly*
- Cas des sommets "extraordinaires"
- Cas des arêtes vives
  - règles spéciales

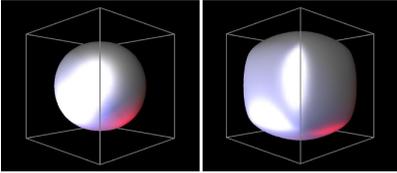


## Surface de subdivision



Loop

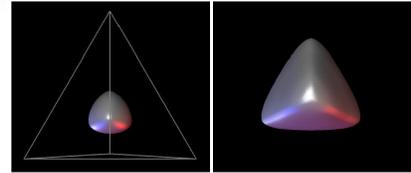
Butterfly



Catmull-Clark

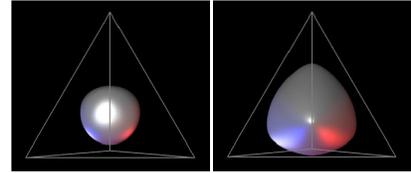
Doo-Sabin

## Surface de subdivision



Loop

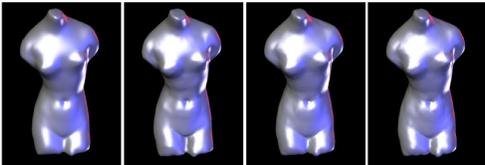
Butterfly



Catmull-Clark

Doo-Sabin

## Surface de subdivision



Loop

Butterfly

Catmull-Clark

Doo-Sabin



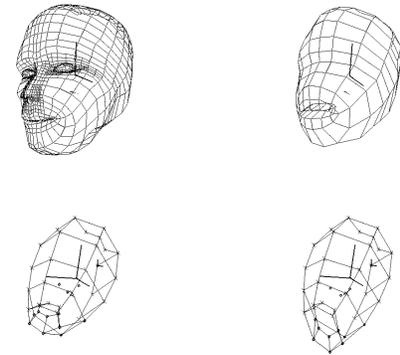
Initial mesh

Loop

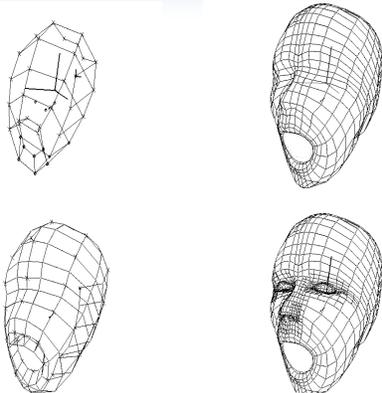
Catmull-Clark

Catmull-Clark after triangulation

## Surface de subdivision: animation



## Surface de subdivision: animation



## Surface de subdivision: bilan

- Avantages
  - Surface régulière à la limite
  - Représentation adaptée pour le rendu
    - niveaux de détails automatiques
    - maillage implicite
    - assez simple à implémenter
  - Outil adapté pour les graphistes
    - très utilisé dans l'industrie
    - contrôle du lissage et des arêtes vives
- Inconvénients
  - il faut quand même un maillage de contrôle



## Surfaces implicites

- Représentation indirecte
  - iso-potentiel d'une fonction potentiel  
 $f(x,y,z)=0$

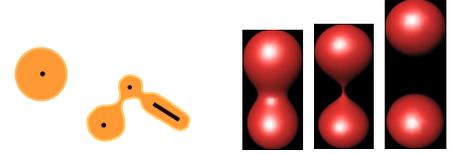
- Opération de combinaison

- union:  $f = \min(\text{abs}(f_1), \text{abs}(f_2))$
- intersection:  $f = \max(\text{abs}(f_1), \text{abs}(f_2))$
- "mélange":  $f = f_1 + f_2$



## Surfaces implicites

- Contrôle
  - fonction analytique pour
  - utilisation de squelettes



## Surfaces implicites

- Exemples



## Surfaces implicites: bilan

- Beaucoup de variantes
- Avantages
  - adapté à l'animation d'objets déformables [Cani 99] ...
  - permet une reconstruction implicite
  - sculpture virtuelle [Ferley 02]
- Inconvénients
  - passage vers un maillage difficile
    - *Marching cubes* [Lorensen 89]
  - pas de paramétrage évident
  - intersection avec un rayon difficile

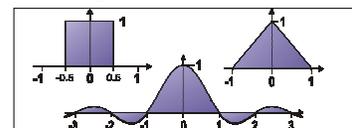
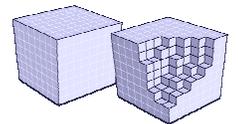


## Les modèles géométriques

- Modèles non structurés
  - points
  - soupe de polygones
- Modèles surfaciques
  - maillages
  - surfaces paramétriques
  - surfaces de subdivision
  - surfaces implicites
- Modèles volumiques
  - octrees
  - CSG
- Modèles procéduraux
  - Fractales
  - Grammaires / L-systems
  - Système de particules
- Modèles à base d'images
  - acquisition
  - rendu

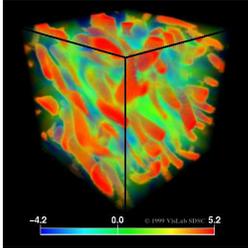
## Voxels

- Discrétisation régulière de l'espace
  - 2D → pixels
  - 3D → voxels  
*volume element*
- Échantillonnage d'une fonction
  - 1 valeur par voxel (scalaire, vecteur, etc...)
  - échantillonnage et reconstruction



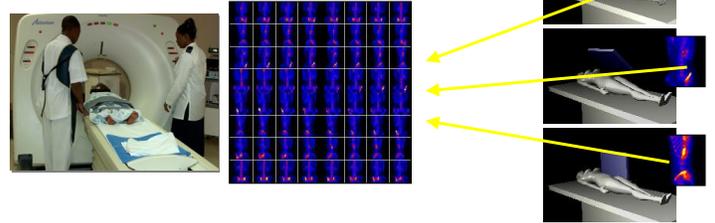
## Voxels

- Obtenu par
  - évaluation discrète d'une fonction
    - fonction implicite
    - simulation numérique



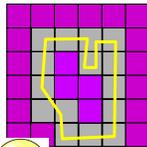
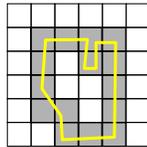
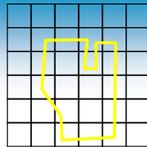
## Voxels

- Obtenu par
  - évaluation discrète d'une fonction
  - reconstruction tomographique
    - acquisition de N projections



## Voxels

- Obtenu par
  - évaluation discrète d'une fonction
  - reconstruction tomographique
  - *Visible Human Project*
  - voxelisation d'une surface
    - pour chaque facette du maillage
      - trouver tous les voxels intersectés
      - les marquer comme "frontière"
    - partir d'un voxel "extérieur"
    - propager l'information par *floodfill*
    - marquer les voxels restants comme "intérieurs"

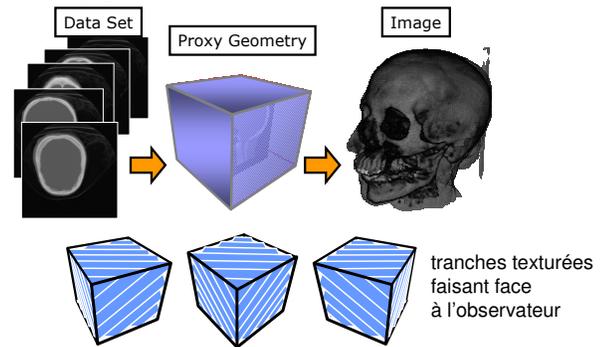


Nouvelle approche: Eisemann & Décoret 2006



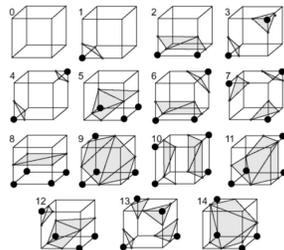
## Voxels

- Affichage
  - proxy géométrique + texture 3D



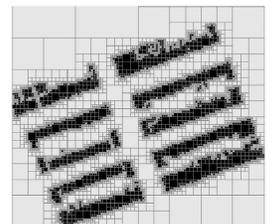
## Voxels

- Affichage
  - 1) proxy géométrique + texture 3D
  - 2) extraction d'une surface
    - Marching Cubes [Lorensen93]



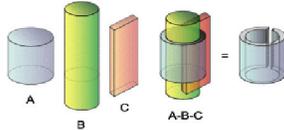
## Voxels

- Affichage + ou - facile
- Représente le volume vs. la surface
- Pratique pour des calculs discrets
  - filtrage
  - squelette, distances, etc...
  - intersections
  - visibilité [Schauffler00]
- Coût mémoire
- Limitations de la grille
  - résolution
  - sensibilité à l'orientation
- extension hiérarchique par *octrees*



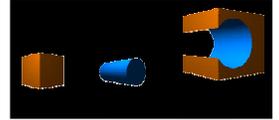
## Constructive Solid Geometry

- Construction hiérarchique à partir
  - de primitives de base
    - sphères, cylindres, cubes...
  - d'opérations ensemblistes
    - union, intersection, différence



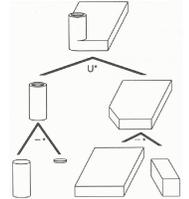
## Constructive Solid Geometry

- Construction hiérarchique à partir
  - de primitives de base
  - d'opérations ensemblistes
- Représentation
  - par un arbre
  - une grammaire



```

exp  := prim | transf prim | op exp exp
prim := cube | sphere | cone | ...
transf := translation | homothétie | rotation
op     := union | intersection | difference
    
```



## Constructive Solid Geometry

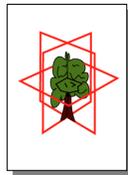
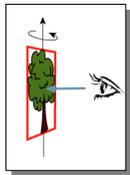
- Facile pour le *ray-tracing*, *et pour OpenGL?*
- Intuitif pour modéliser
  - utilisé par le moteur de Unreal pour les salles
- Mais quand même limité
  - dépend du choix des primitives de bases
  - applicable à des nuages de points

## Image Based Rendering

- Représenter un objet par plusieurs images
  - complétude  $\Rightarrow$  trop d'images!
  - peu d'images  $\Rightarrow$  problème de reconstruction
  - combien d'images?
  - comment reconstruire?
- Capture aussi les effets d'éclairage
  - potentiellement très complexes
- Modèle statique
  - géométrie *et* éclairage

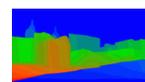
## Billboards

- Panneaux avec une image
  - version simple

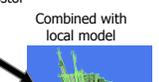


## Billboards

- Panneaux avec une image
  - version simple
  - imposteurs



Distant model.....replaced by impostor



Discontinuities

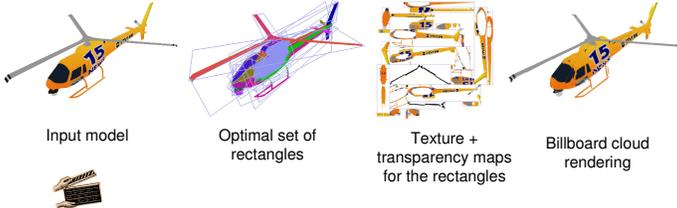
Triangulation



Combined with local model

## Billboards

- Panneaux avec une image
  - version simple
  - imposteurs
  - *Micro Facet Billboarding* [Yamazaki02]
  - *Billboard Clouds* [Décoret03]



## Billboards

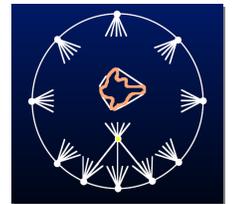
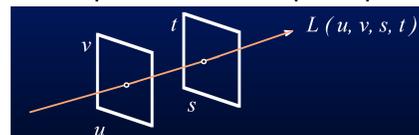
- Panneaux avec une image
  - version simple
  - imposteurs
  - *Billboard Clouds* [Décoret03]
- Compromis géométrie/texture
  - géométrie ~ forme globale
  - texture ~ détails (apparence *et* forme)
- Effets de parallaxe limités
- Difficile de déformer et de rééclairer

## Conclusion

- Modéliser = fabriquer
  - implique souvent la représentation
- Penser à la tâche postérieur d'édition/contrôle
  - On veut garder toujours le contrôle humain
- Pleins d'alternatives
  - choisir la plus adaptée pour la tâche en cours et finale

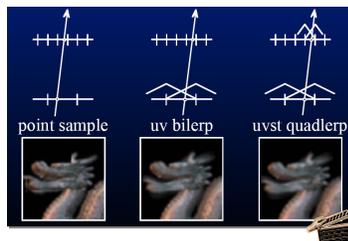
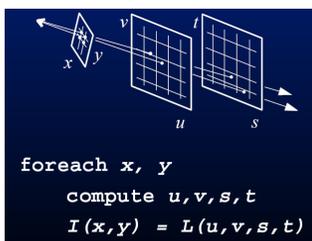
## Light Fields

- Fonction plénoptique
  - radiance en fonction de la position et la direction
  - 5D mais 4D si on se place en dehors de l'objet
- Échantillonnage
  - paramétrisation par 2 plans



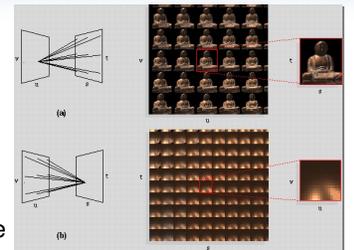
## Light Fields

- Rendu par rééchantillonnage
  - problème du filtrage



## Light Fields

- Rendu ~rapide
- Qualité grande
  - bons effets lumineux
  - mais qqes artefacts
- Modélise le réel
- Coût mémoire
  - mais bonne cohérence
  - donc compression
- Beaucoup de travaux
  - autres paramétrisations, différentes compressions



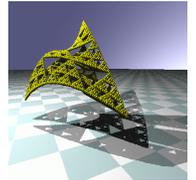
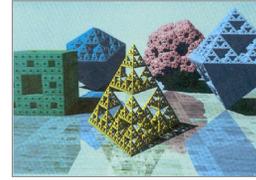
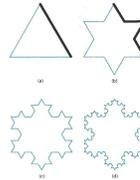
## Modèles procéduraux

- Primitives géo. créées par une procédure
  - “croissance” progressive de la forme
- Utile pour les objets structurés
  - ex: plante, paysage, ville, mer...
- Plusieurs approches
  - Fractales
  - L-systems
  - Système de particules

## Fractales

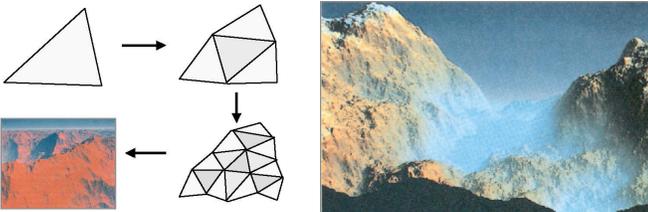
- Auto-similarité
- Construit comme une limite
  - convergence assurée si transformation contractante

Comment le faire avec lancer de rayons?  
OpenGL?



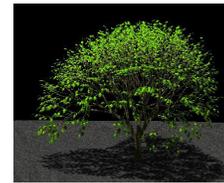
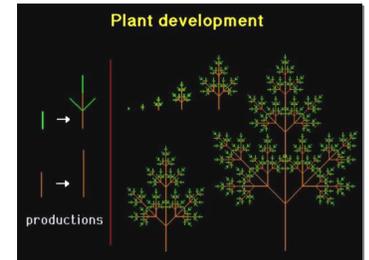
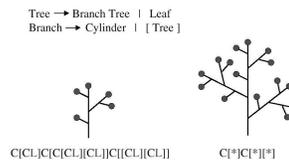
## Fractales

- Spécifié par un axiome + un générateur
    - on peut rajouter de l'aléatoire
    - très utilisé pour les terrains
- (<http://www.vterrain.org>)



## L-Systems

- Grammaire décrivant la croissance



Prusinkiewicz et al.

## Systèmes de particules

- Modélisation d'une évolution
  - physique (feu, explosion, ...)
  - comportementale (foule, ...)
  - artistique...



## Modèles procéduraux: bilan

- Création d'objets très complexes
  - pas spécifiables à la main
- Pas toujours intuitif
  - problème de l'inversion
  - quels paramètres donneront le résultat voulu?
- Rendu
  - peut nécessiter des algorithmes spécifiques
- Animation
  - grammaire temporelle
  - systèmes de particules

## Slides

- Contributions de:

- Briceno, H., Notes du cours SI, UFRIMA
- Boyer, E., Notes du cours SI, UFRIMA
- Holzschuch, N., « Notes du cours DEA-IVR, ENSIMAG, Création d'Images Virtuelles ». 2005-2006
- Frédo Durand and Barbara Cuttler, SI, MIT
- Joëlle Thollot and Xavier Décoret DEA IVR 2004

- **Images taken from various sources:**

**IF ANY IMAGE IN THIS PRESENTATION IS  
NOT ALLOWED TO BE USED, PLEASE  
CONTACT ME AND I WILL DELETE IT!**

TO MY BEST KNOWLEDGE ALL IMAGES CAN BE USED  
FOR UNIVERSITY COURSES.