

# LA SYNTHÈSE D'IMAGES

- MODÉLISATION -

Jonathan Fabrizio

<http://jo.fabrizio.free.fr>

Version : Fri Feb 12 17:02:29 2021



- ▶ Rendu temps réel
  - ▶ Maillages/polygones
- ▶ Rendu photoréaliste (algorithmes type *raytracing*)
  - ▶ Maillages/polygones
  - ▶ Mathématiques
- ▶ Animation :
  - ▶ Modèles physiques

Chaque objet est décrit par une formule mathématique

- ▶ Très compact et bien adapté pour les algorithmes type *raytracing*
- ▶ Formule compliquée ou impossible à déterminer pour la plupart des objets



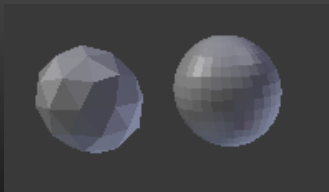
Formes de base - primitives 2D/3D :

- ▶ Sphere
- ▶ Cylindre
- ▶ Cube
- ▶ Plan
- ▶ Tore
- ▶ ...

# Maillages

Construction d'objets par assemblage de polygones

- ▶ Bonne modélisation des objets avec peu de courbes (architecture...)
- ▶ Peu compacte mais facile à manipuler



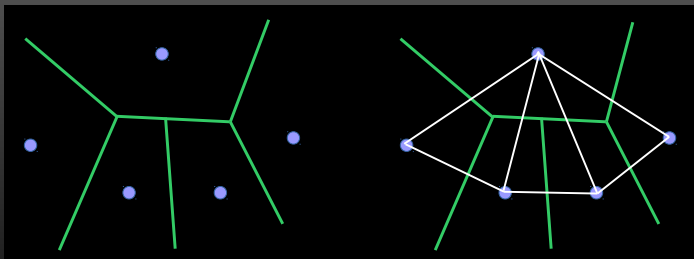
# Maillages : Représentation

- ▶ Polygone utilisé :
  - ▶ Majoritairement le triangle
    - ▶ Facilite le traitement (remplissage...)
- ▶ Représentation en interne :
  - ▶ Liste de coordonnées de sommets par polygone
    - ▶ *Duplication* des sommets communs à plusieurs polygones
    - ▶ Pas de connaissance de la topologie
  - ▶ Liste de sommets puis liste d'indices par polygone
    - ▶ Gain de place
    - ▶ Réduction de la quantité d'information
    - ▶ Pas de connaissance de la topologie

# Maillage : Triangulation de Delaunay

Diagramme de Voronoï

►  $vor(p) = \{x \in E; \forall qd(x, p) \leq d(x, q)\}$



Adaptive mesh refinement

▶ *Depth tagging*

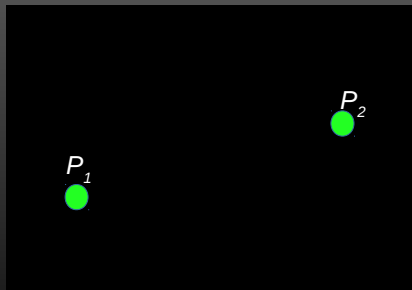
Bézier (1960 – *Renault*)

- ▶ Courbes de Bézier
- ▶ Surfaces de Bézier

# Modélisation surfacique : Surfaces de Bézier

## Courbes de Bézier

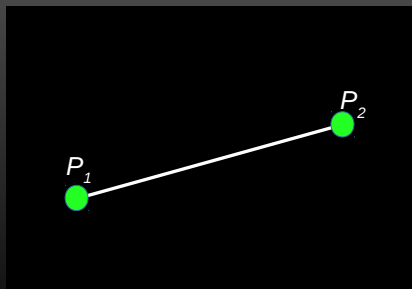
- ▶ Définir une courbe passant par deux points :



# Modélisation surfacique : Surfaces de Bézier

## Courbes de Bézier

- ▶ Définir une courbe passant par deux points :
  - ▶ Lissage linéaire
    - ▶  $P_1t + P_2(1 - t)$  avec  $0 \leq t \leq 1$
    - ▶ Si plus de points : continu par morceau

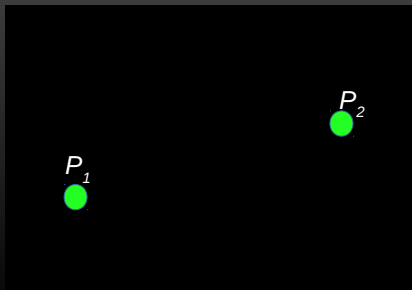




# Modélisation surfacique : Surfaces de Bézier

## Courbes de Bézier

- ▶ Lissage polynomial de Hermite
  - ▶  $x(t) = Q(t) = a_3t^3 + a_2t^2 + a_1t + a_0$
  - ▶  $y(t) = R(t) = b_3t^3 + b_2t^2 + b_1t + b_0$
  - ▶ Pour garder la dérivabilité en  $P_1$  et  $P_2$  :
    - ▶  $Q'(t) = 3a_3t^2 + 2a_2t + a_1$
    - ▶ Idem pour  $y(t)$
  - ▶ Il faut trouver les  $a_i$  et les  $b_i$



## Courbes de Bézier

- ▶ Lissage polynomial de Hermite

- ▶  $x(t) = Q(t) = a_3t^3 + a_2t^2 + a_1t + a_0$

- ▶  $y(t) = R(t) = b_3t^3 + b_2t^2 + b_1t + b_0$

- ▶ Pour garder la dérivabilité en  $P_1$  et  $P_2$  :

- ▶  $Q'(t) = 3a_3t^2 + 2a_2t + a_1$

- ▶ Idem pour  $y(t)$

- ▶ On va utiliser :

- ▶  $x(0) = xP_1$

- ▶  $x(1) = xP_2$

- ▶  $x'(0) = x'P_1$

- ▶  $x'(1) = x'P_2$

- ▶ Ce qui donne :

- ▶  $x(t) = (2t^3 - 3t^2 + 1)xP_1 + (-2t^3 + 3t^2)xP_2 + (t^3 - 2t^2 + t)x'P_1 + (t^3 - t^2)x'P_2$

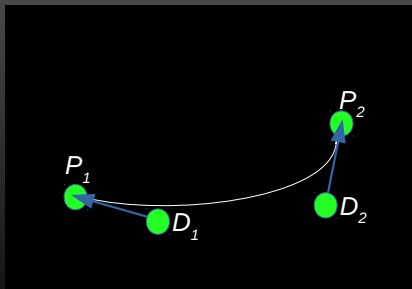
- ▶ Idem pour  $y(t)$

# Modélisation surfacique : Surfaces de Bézier

## Courbes de Bézier

- ▶ Comment avoir les
  - ▶  $x'(0) = x'P_1$
  - ▶  $x'(1) = x'P_2$

Ajout de points de contrôle pour déterminer la dérivée localement



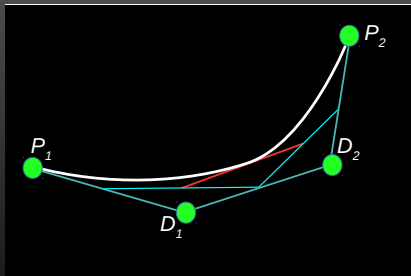
Les vecteurs tangents sont déduit par  $3(D_1 - P_1)$

# Modélisation surfacique : Surfaces de Bézier

## Courbes de Bézier

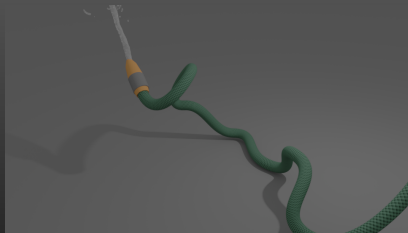
► Cela donne :

$$\text{► } xP_1(1 - t)^3 + xD_1(3t(1 - t)^2) + xD_23t^2(1 - t) + xP_2t^3$$

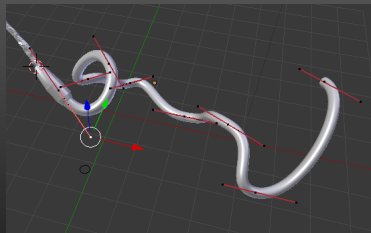


# Modélisation surfacique : Surfaces de Bézier

## Courbes de Bézier



source : Réalisé avec blender



source : Réalisé avec blender

## Courbes de Bézier

- ▶ Pour définir une courbe plus complexe :
  - ▶ Augmenter le degré
    - ▶ La modification d'un point de contrôle perturbe toute la courbe
  - ▶ Joindre plusieurs courbes de Bézier
- ▶ Pour appliquer des transformations affines :
  - ▶ Appliquer les transformations affines aux points de contrôle

## Surfaces de Bézier

- ▶ Par extension : surfaces de Bézier
  - ▶ 4 points de contrôle en 2D, 16 points de contrôle en 3D
  - ▶ Joindre plusieurs surfaces de Bézier

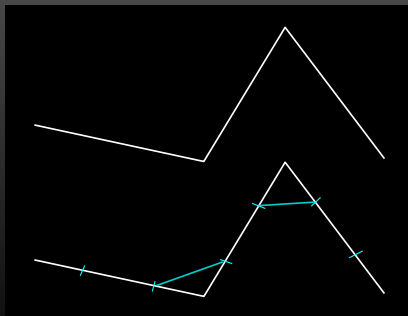
# Lissage de polygones



# Lissage de polygones : Surface de subdivision

Différents algorithmes : Algorithme de Catmull-Clark, Doo-Sabin.  
Un exemple en 2D :

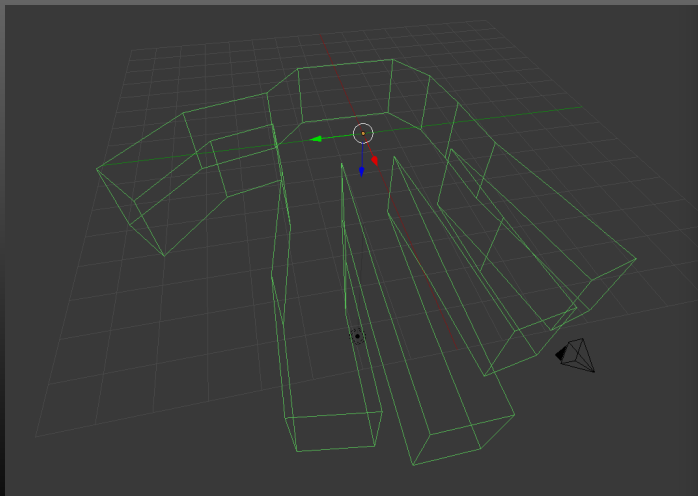
- ▶ diviser chaque segment en 3 parties égales
- ▶ joindre les divisions successives
- ▶ Recommencer jusqu'au niveau lissage désiré



A faire en 3D.

# Lissage de polygones : Algorithme de Catmull-Clark

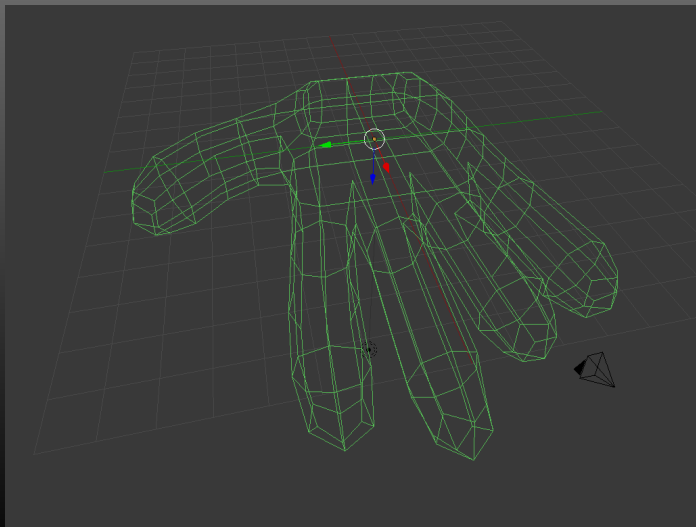
Exemple :



source : réalisé avec Blender

# Lissage de polygones : Algorithme de Catmull-Clark

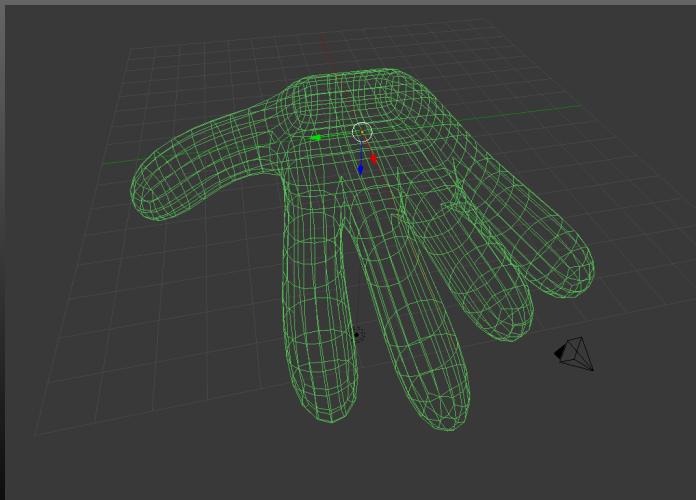
Exemple :



source : réalisé avec Blender

# Lissage de polygones : Algorithme de Catmull-Clark

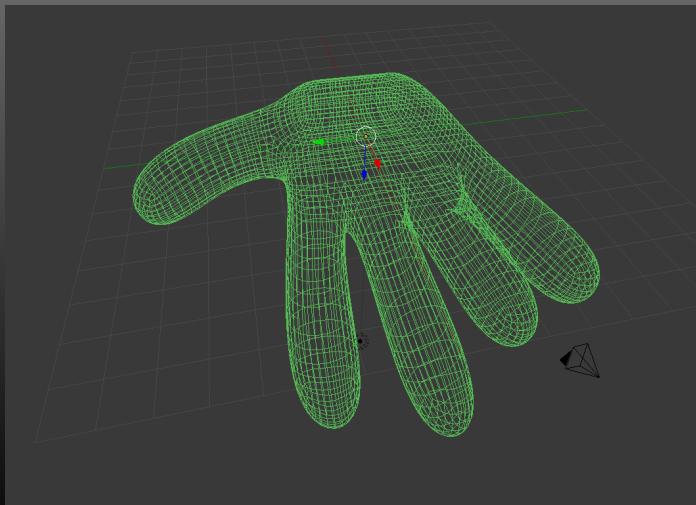
Exemple :



source : réalisé avec Blender

# Lissage de polygones : Algorithme de Catmull-Clark

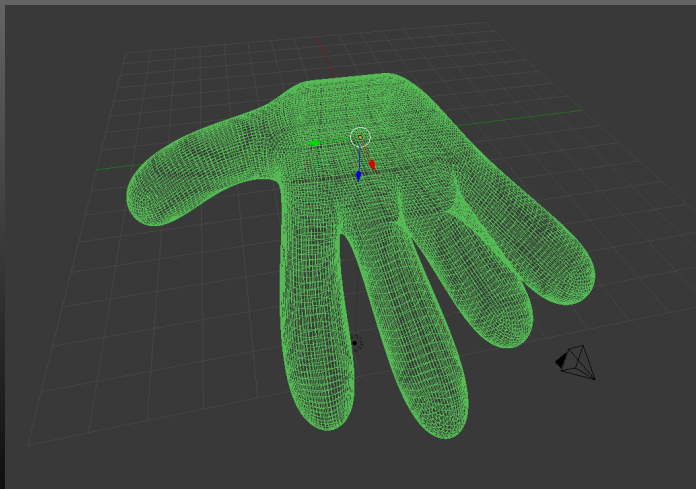
Exemple :



source : réalisé avec Blender

# Lissage de polygones : Algorithme de Catmull-Clark

Exemple :



source : réalisé avec Blender

# Modélisation par assemblage

# Modélisation par assemblage : C.S.G.

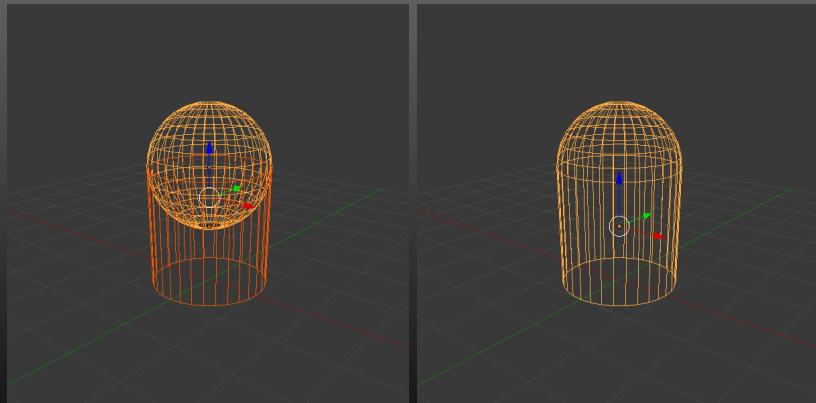
*C.S.G. : Constructive Solid Geometry*

- ▶ Combiner des briques de base (solides) par des opérations :
  - ▶ Union
  - ▶ Intersection
  - ▶ Différence



# Modélisation par assemblage : C.S.G.

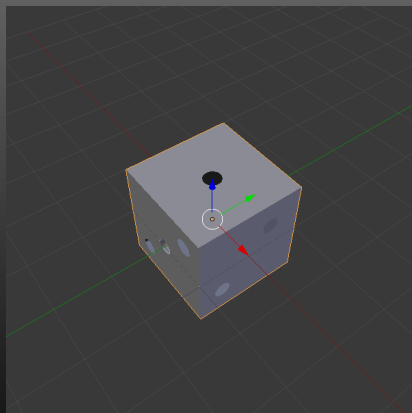
## Union



source : réalisé avec Blender

# Modélisation par assemblage : C.S.G.

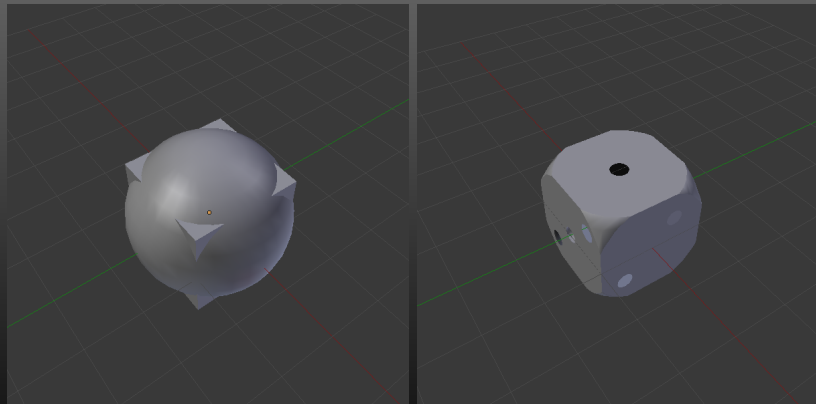
## Intersection



source : réalisé avec Blender

# Modélisation par assemblage : C.S.G.

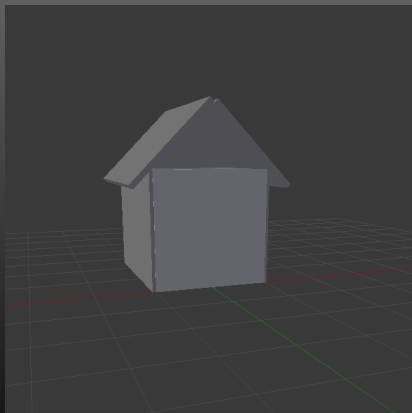
## Intersection



source : réalisé avec Blender

# Modélisation par assemblage : C.S.G.

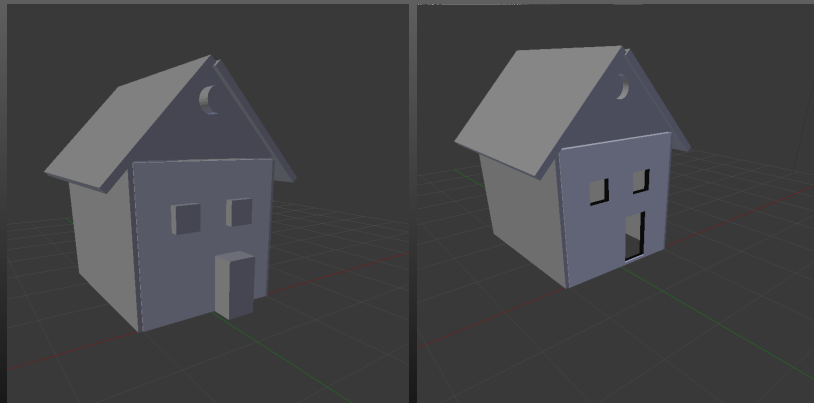
Différence



source : réalisé avec Blender

# Modélisation par assemblage : C.S.G.

Différence

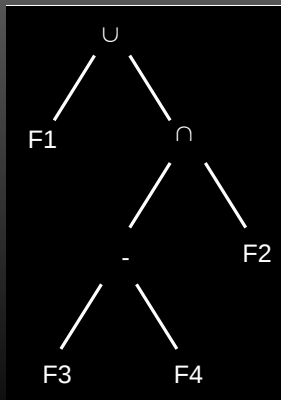


source : réalisé avec Blender

# Modélisation par assemblage : C.S.G.

CSG : *Constructive Solid Geometry*

- ▶ Représentation sous forme d'arbre :



- ▶ Fonction implicite d'un solide :  $F(x, y, z)$ 
  - ▶  $F(x, y, z) < 0$  intérieur
  - ▶  $F(x, y, z) = 0$  surface
  - ▶  $F(x, y, z) > 0$  extérieur
- ▶ Pour le calcul des C.S.G. :  $-1, 0, 1$ 
  - ▶  $F_{A \cap B}(p) = \max(F_A(p), F_B(p))$
  - ▶  $F_{A \cup B}(p) = \min(F_A(p), F_B(p))$
  - ▶  $F_{A - B}(p) = \max(F_A(p), -F_B(p))$

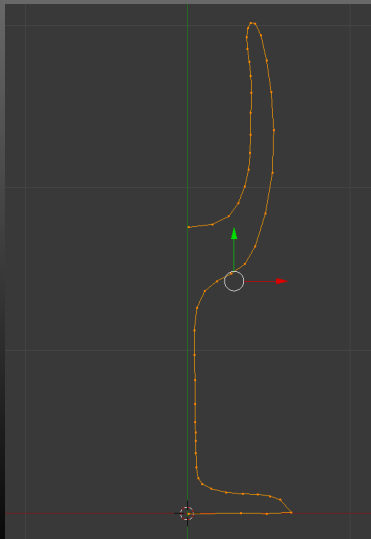
# Modélisation par révolution

- ▶ L'objet est construit par la rotation d'une forme autour d'un axe de révolution
  - ▶ fonction d'un angle
  - ▶ fonction d'un pas d'échantillonnage



# Modélisation par révolution

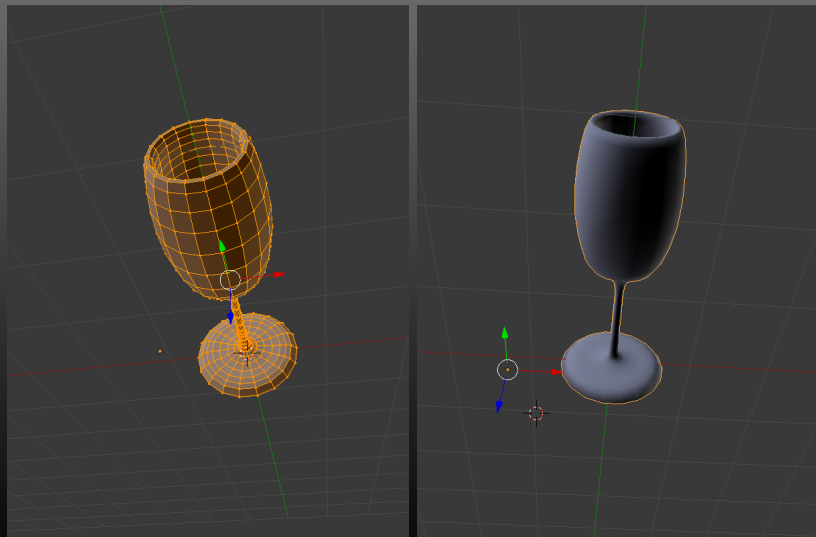
## Tracé du contour



source : réalisé avec Blender

# Modélisation par révolution

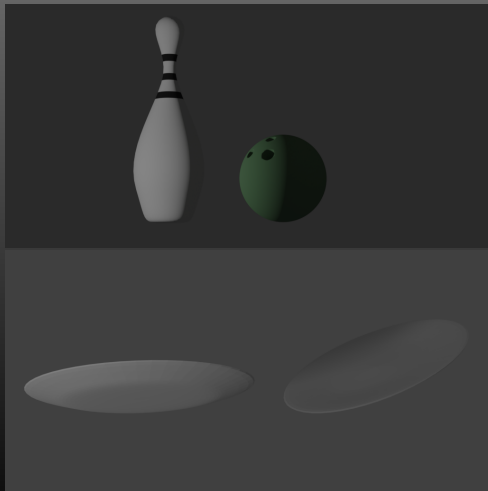
## Rotation du contour



source : réalisé avec Blender

# Modélisation par révolution

## Rotation du contour



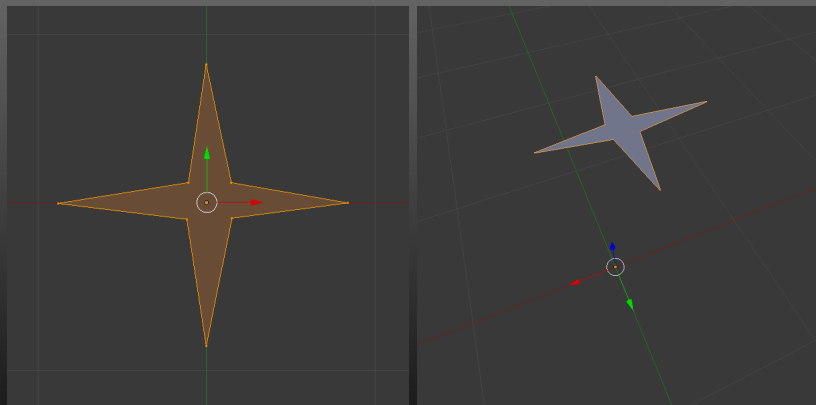
source : réalisé avec Blender



# Modélisation par extrusion

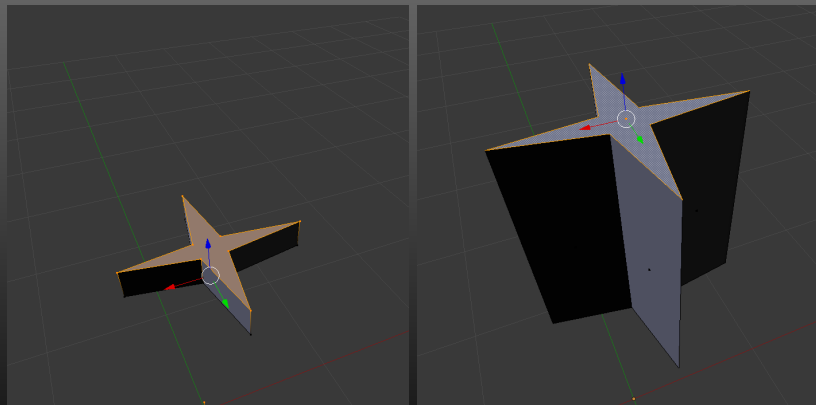
- ▶ L'objet est construit par une surface suivant une trajectoire
- ▶ Le chemin peut être plus ou moins compliqué

# Modélisation par extrusion



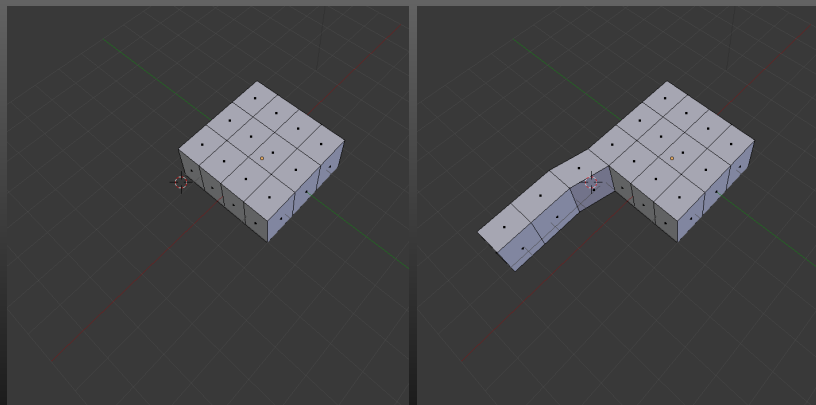
source : réalisé avec Blender

# Modélisation par extrusion



source : réalisé avec Blender

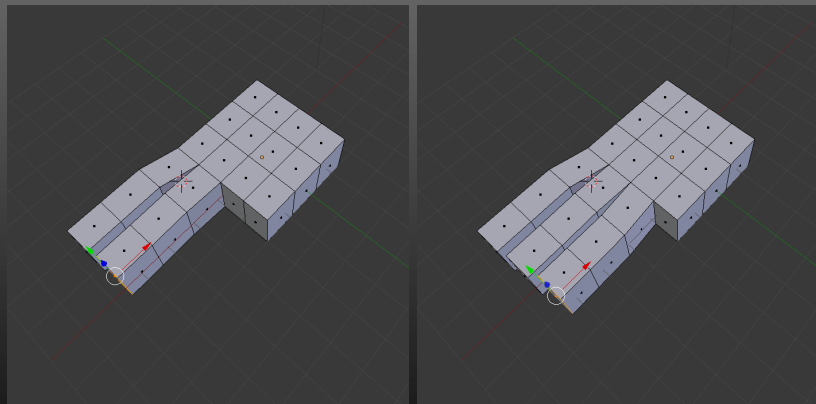
# Modélisation par extrusion



source : réalisé avec Blender

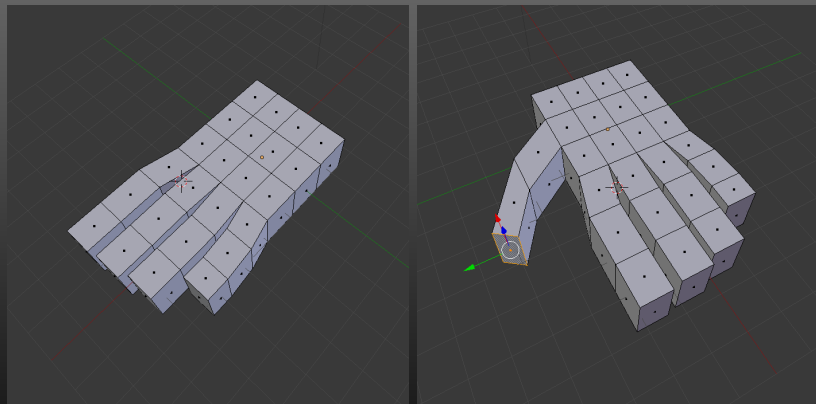


# Modélisation par extrusion



source : réalisé avec Blender

# Modélisation par extrusion

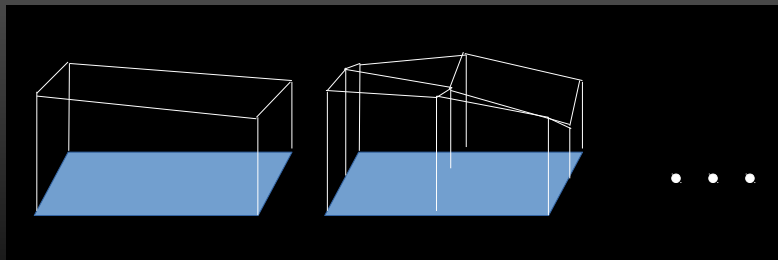


source : réalisé avec Blender

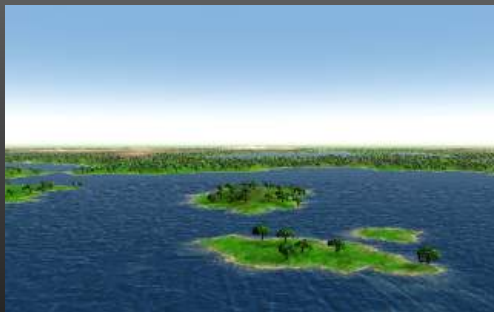
# Cartes d'altitudes

Permet généralement de représenter les terrains

- ▶ Construction :
  - ▶ Itérative
  - ▶ ...



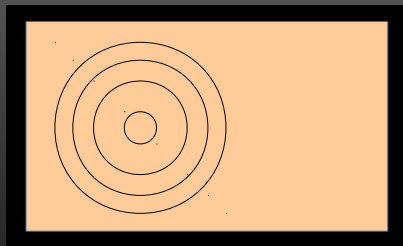
# Cartes d'altitudes



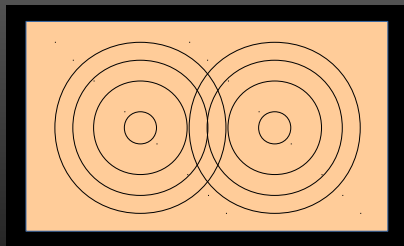
source : Matthieu Chopin

# Blobs/Metaballs

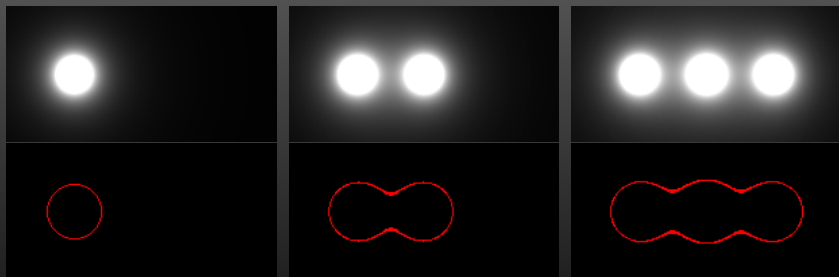
Représentation d'un objet par isosurface



Représentation d'un objet par isosurface

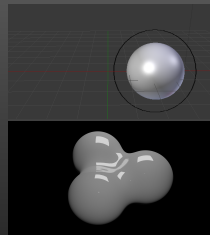
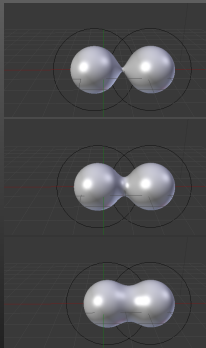
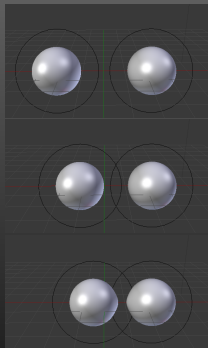


Représentation d'un objet par isosurface





# Blobs/Metaballs



# Blobs/Metaballs



source : Pierre Nerzic -

<http://perso.univ-rennes1.fr/pierre.nerzic/IN/Cours/S4P4%20-%20Synthese%20d%27images.html>

- ▶ Rendu
  - ▶ En raytracing, évaluation le long du rayon
  - ▶ Algorithme des « *marching cubes* »
  - ▶ Particules
  - ▶ Attention au calcul des normales
- ▶ Modélisation
  - ▶ Eau
  - ▶ ...

# Modélisation de la végétation : Graftales

## Modélisation des plantes



source : wikipedia

# Modélisation de la végétation : Graftales

## Modélisation des plantes

- ▶ L-Systems (Lindenmayer, 1968)
  - ▶ Similaire à une grammaire
  - ▶ Souvent utilisé pour modéliser la végétation (mais pas seulement)



source : wikipedia

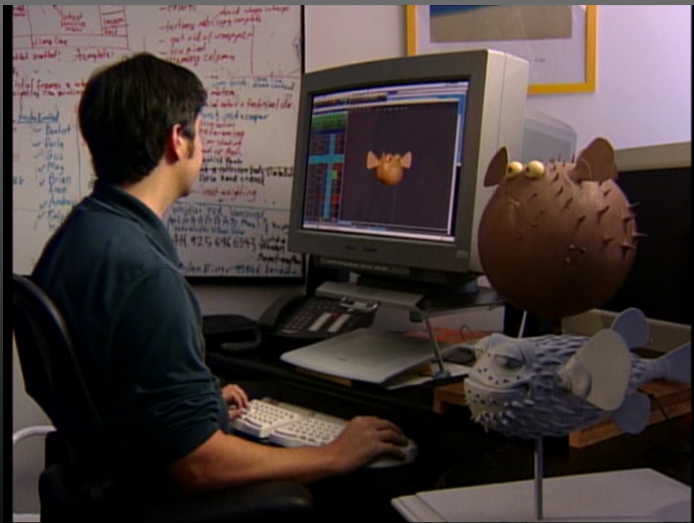
Scan 3D

# Acquisition : création du modèle



source : Le Monde de Nemo - Pixar

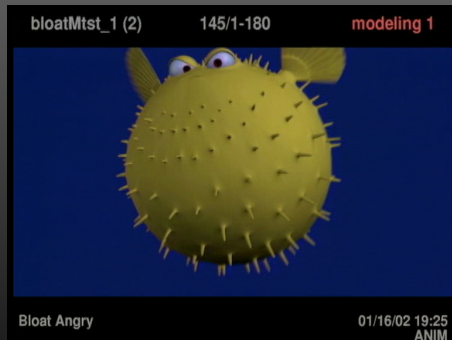
# Acquisition : modèle numérique



source : Le Monde de Nemo - Pixar

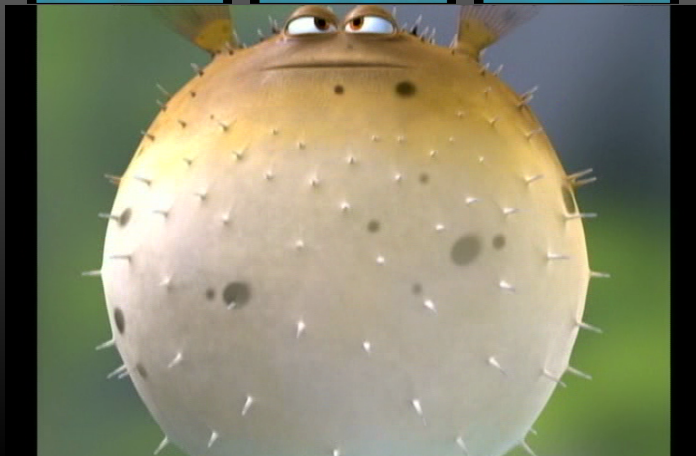


# Acquisition : modèle numérique



source : Le Monde de Nemo - Pixar

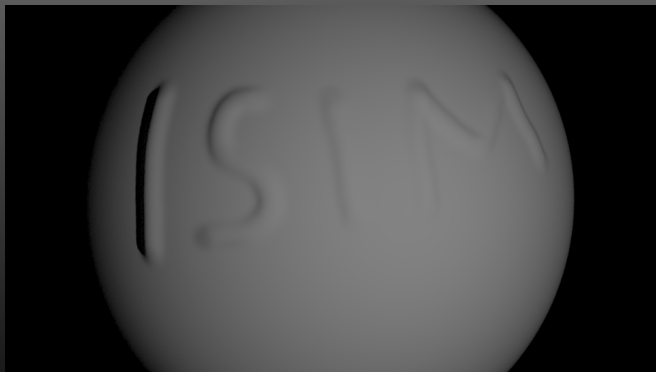
# Acquisition : enrichissement





source : Avatar

## Sculpture 3D.



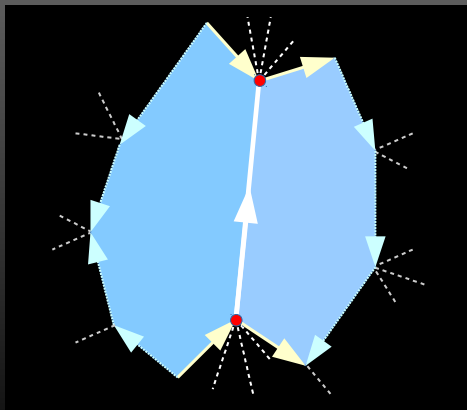
# Codage des Formes/Maillages

- ▶ Arêtes aillées
- ▶ *B-Rep*
- ▶ *Array of vertex*
- ▶ *Array of indexes*

# Arêtes aillées

Une arête :

- ▶ une orientation
- ▶ deux faces
- ▶ deux sommets
- ▶ quatre arêtes



# Boundary Representation B-Rep

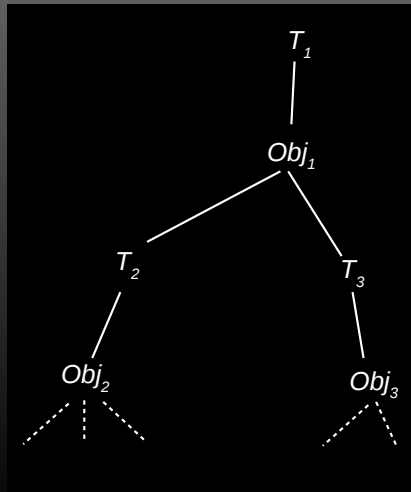
Un solide est modélisé par les éléments extérieurs

- ▶ Cela donne une surface fermée
  - ▶ Ensemble de :
    - ▶ Faces, arêtes et sommets + relations topologiques
    - ▶ Les faces ne doivent pas s'intersecter ailleurs que sur des arêtes explicites (de la B-REP)
    - ▶ Les faces doivent séparer l'intérieur de l'extérieur du solide
- ▶ Redondance des données → risque d'incohérence

# Modélisation d'une scène

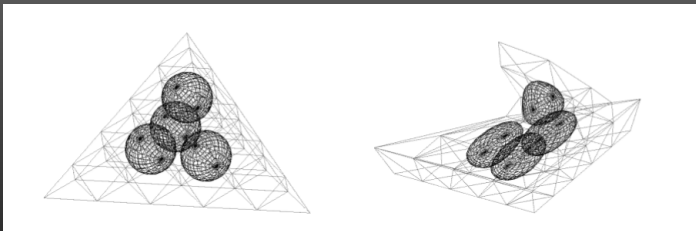
Déformation/Mouvements/Objets articulés

- Représentation hiérarchique





# Modélisation d'une scène : Déformations libres



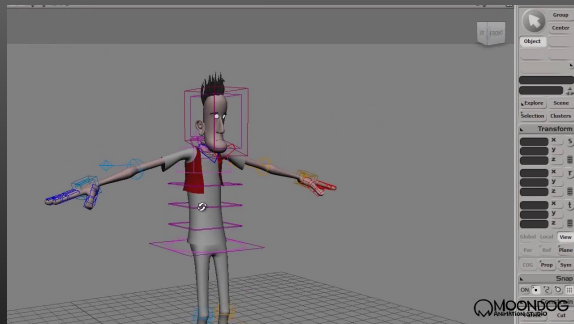
source : Déformation Continue de Forme Libre, Dominique Bechmann, Yves Bertrand and Sylvain Thery

# Animation

- ▶ Génération de toutes les images qui composent l'animation
  - ▶ Il faut donc modéliser les transformations
    - ▶ Déplacements
    - ▶ Déformations
    - ▶ Changements de couleur
    - ▶ ...

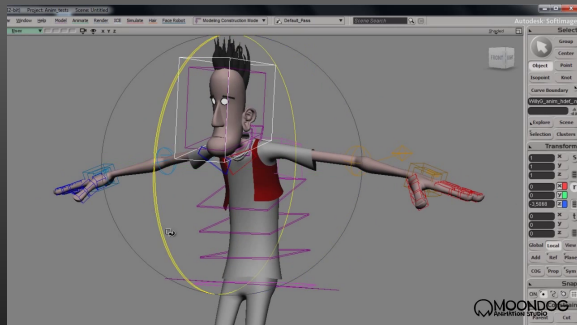
- ▶ Équation de mouvement
  - ▶ Définitions des positions et orientations – trajectoire à suivre
- ▶ Position clé et interpolation
  - ▶ Spécification que de quelques positions puis interpolation automatique pour générer les positions intermédiaires (pas facile de respecter toutes les contraintes)
- ▶ Modèle physique
  - ▶ Donne du réalisme au mouvement

# Animation



source : <http://www.moondoganimation.com/>

# Animation



source : <http://www.moondoganimation.com/>

# Animation : positions clés



source : <http://www.moondoganimation.com/>

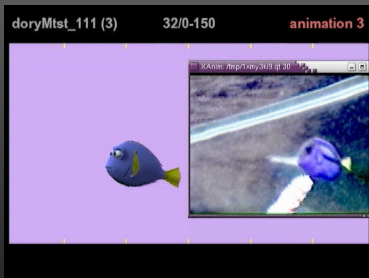
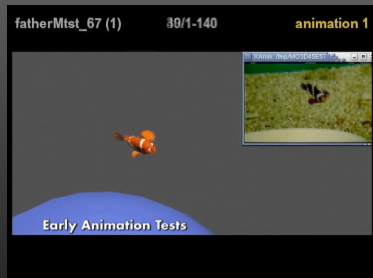
# Animation : vitesse du mouvement



source : <http://www.moondoganimation.com/>



# Animation



source : Le monde de Nemo - Pixar

# Animation



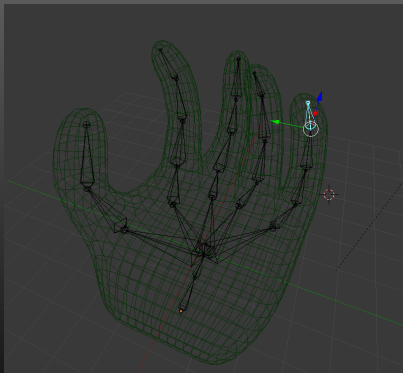
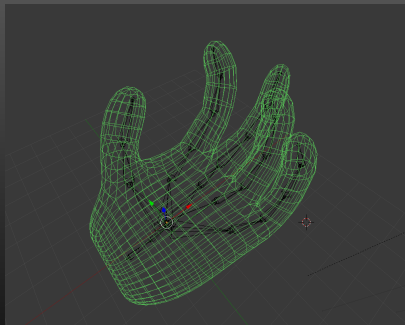
source : Pixar

## Animation de personnages

- ▶ Définition de l'animation complète du personnage
  - ▶ Difficile et consommation mémoire trop élevée
- ▶ Définition d'un « squelette » et d'une « peau »
  - ▶ Le mouvement est spécifié uniquement pour le squelette
  - ▶ Gain de place

# Animations difficiles

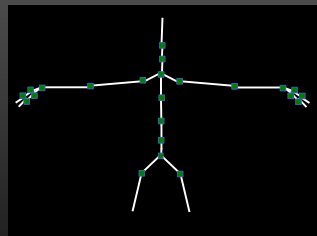
## Animation de personnages



# Animations difficiles

## Animation de personnages

- ▶ Définition d'un « squelette »
  - ▶ Le corps humain comporte environ 200 os
  - ▶ Environ une centaine d'articulations
  - ▶ Assemblage de segments rigides
    - ▶ Structure arborescente hiérarchique
    - ▶ Rotation avec ajout de contraintes
  - ▶ Cinématique inverse
    - ▶ Trouver la bonne position
  - ▶ Le déplacement des os entraîne le déplacement de la peau



# Animations difficiles

## Animation de personnages

### ▶ La peau

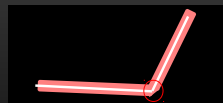
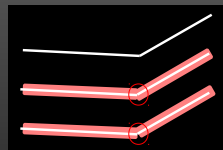
#### ▶ Cylindres

#### ▶ Maillages ou surfaces (Splines...)

- ▶ Attachement de chaque point à un os
- ▶ Pondération de l'attachement d'un point aux os voisins

#### ▶ Modèles de muscles

- ▶ Modélisation par blobs et surfaces implicites  
(Dans l'ensemble ce type de modèles n'est plus trop utilisé)
- ▶ Modélisation des muscles par des ressorts



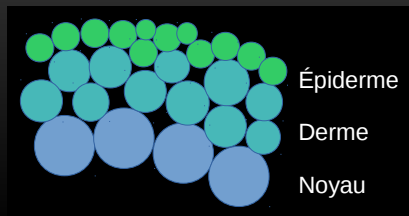
# Animations difficiles

## Animation de personnages

- ▶ La peau
  - ▶ Modélisation par particules hiérarchiques
    - ▶ Noyau : lié au reste du modèle
    - ▶ Derme : déformation de l'objet
    - ▶ Épiderme : cohésion et surface + interaction et collisions avec le reste du monde

→ Diminution de la complexité

- ▶ Interaction uniquement avec la couche voisine
- ▶ Interaction avec l'extérieur gérée au niveau de l'épiderme
  - ▶ diminution du nombre de particules
  - ▶ diminution de la quantité de calculs



- ▶ Problème de jointures
  - ▶ Augmentation du maillage aux jointures
  - ▶ Ajout d'os dans l'articulation
  - ▶ Ajout de contraintes : section minimal autour de chaque os...
  - ▶ Lissage des pondérations des contributions des os sur l'enrobage



Quelques positions modélisées

- ▶ Normal, souriant...
- ▶ Calcul automatique des transitions (*morphing*)

Temps réel : *Blend shape*

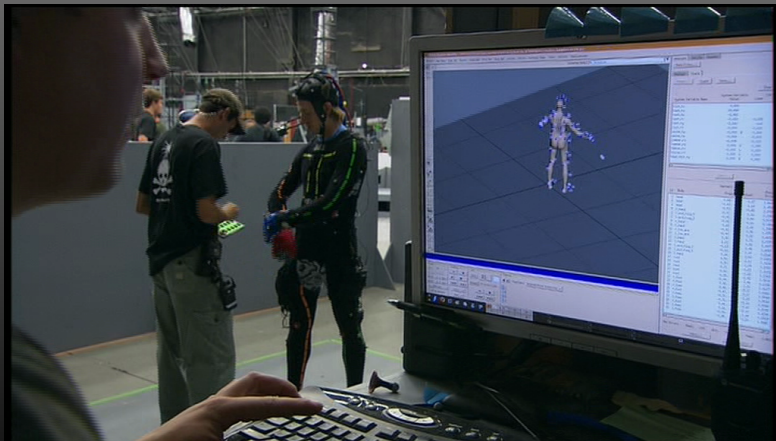
- ▶ Position neutre
- ▶ Codage des deltas pour arriver à une pose particulière

# Animation : *Motion capture*



source : Avatar - James Cameron

# Animation : *Motion capture*



source : Avatar - James Cameron

## Animation : *Motion capture*



source : Avatar - James Cameron

## Animation : *Motion capture*



source : Avatar - James Cameron

# Animation : *Motion capture*



source : Avatar - James Cameron

# Animation



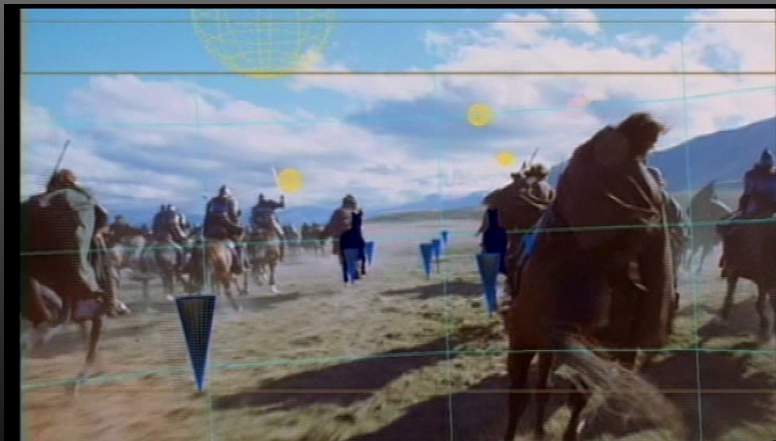
source : Arg ?





source : Arg ?

# Animation



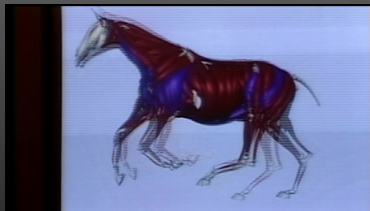
source : Arg ?

# Animation



source : Arg ?

# Animation



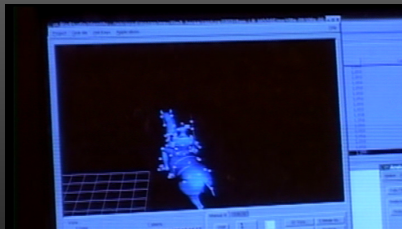
source : Arg ?

# Animation



source : Arg ?

# Animation

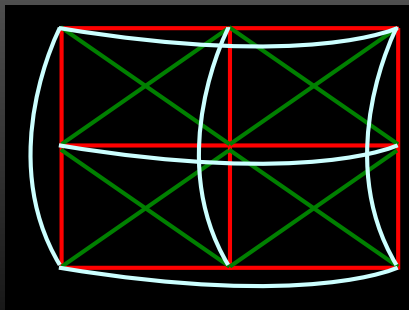


source : Arg ?

# Animation : Tissus et vêtements

Modèle masses-ressorts

- ▶ Maillage de Provot
- ▶ Ajout de ressorts pour le cisaillement et la courbure



## Collisions et autocollisions

- ▶ Beaucoup de calculs
  - ▶ division de l'espace et volumes englobants



Modélisation et animation

# Conclusions

