

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



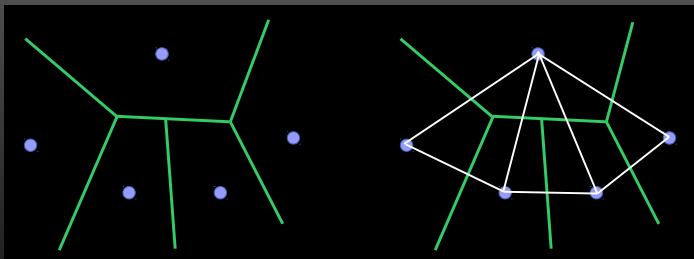
Maillages : Représentation

- ▶ 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

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



Maillage : *Mesh Refinement*

Adaptive mesh refinement

▶ *Depth tagging*

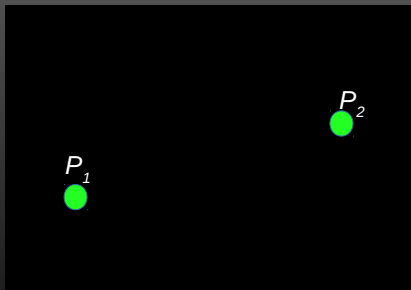
Modélisation surfacique : Surfaces de Bézier

Bézier (1960 – *Renault*)

- ▶ Courbes de Bézier
- ▶ Surfaces de Bézier

Courbes de Bézier

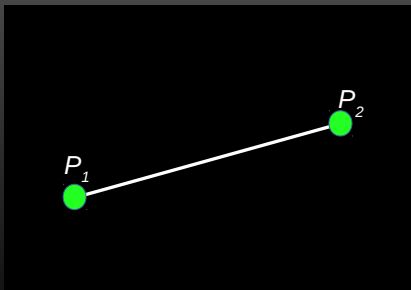
- Définir une courbe passant par deux points :



Modélisation surfacique : Surfaces de Bézier

Courbes de Bézier

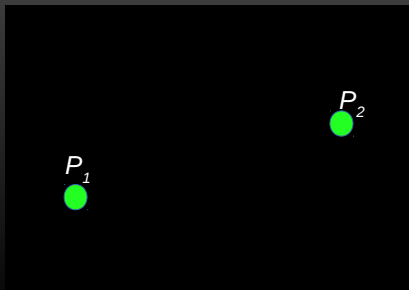
- ▶ Définir une courbe passant par deux points :
 - ▶ Lissage linéaire
 - ▶ $P_1t + P_2(1 - t)$ avec $0 \leq t \leq 1$
 - ▶ Si plus de points : continu par morceau



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

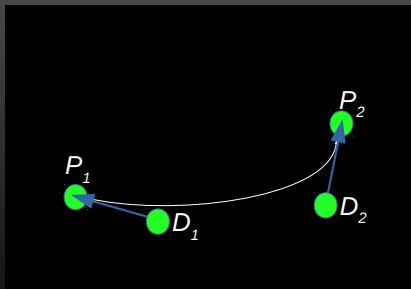
Courbes de Bézier

► Comment avoir les

► $x'(0) = x'P_1$

► $x'(1) = x'P_2$

Ajout de points de contrôle pour déterminer la dérivée localement



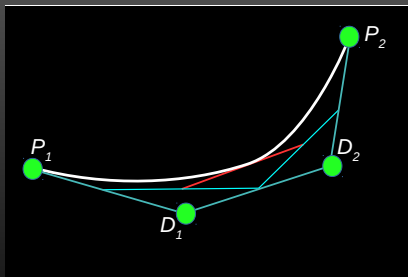
Les vecteurs tangents sont déduit par $3(D_1 - P_1)$

Modélisation surfacique : Surfaces de Bézier

Courbes de Bézier

► Cela donne :

$$\text{► } xP_1(1-t)^3 + xD_1(3t(1-t)^2) + xD_2(3t^2(1-t)) + xP_2t^3$$



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

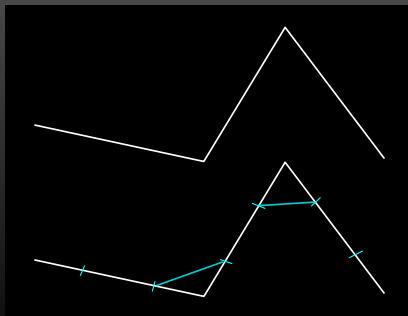
- ▶ Par extension : surfaces de Bézier
 - ▶ 4 points de contrôle en 2D, 16 points de contrôle en 3D
 - ▶ Joindre plusieurs surfaces de Bézier

Lissage de polygones

Lissage de polygones : Surface de subdivision

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

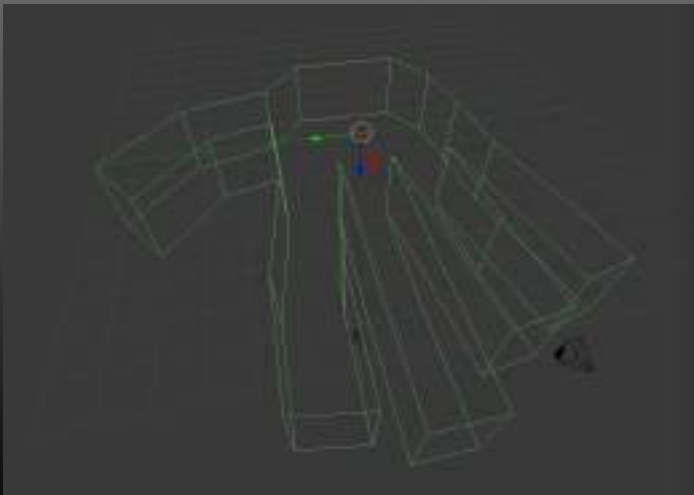
- ▶ diviser chaque segment en 3 parties égales
- ▶ joindre les divisions successives
- ▶ Recommencer jusqu'au niveau lissage désiré



A faire en 3D.

Lissage de polygones : Algorithme de Catmull-Clark

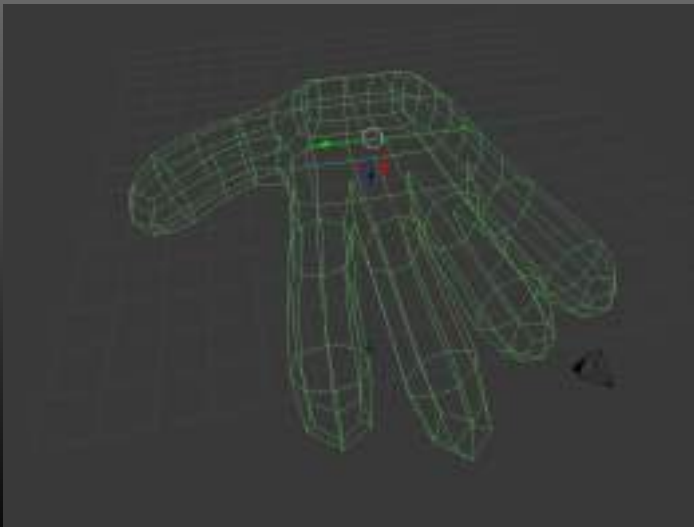
Exemple :



source : réalisé avec Blender

Lissage de polygones : Algorithme de Catmull-Clark

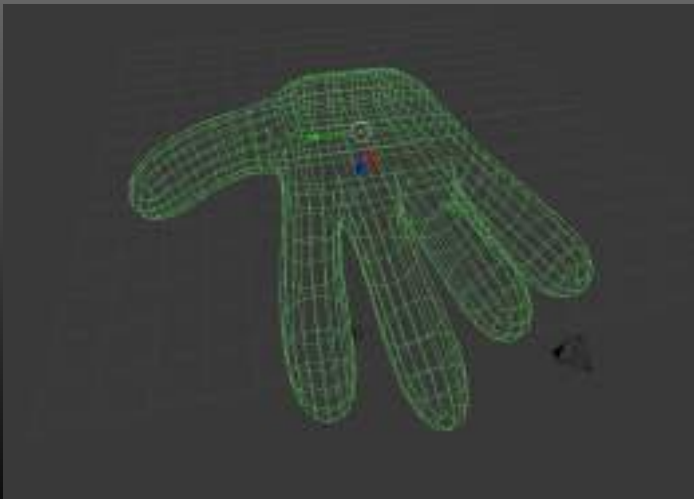
Exemple :



source : réalisé avec Blender

Lissage de polygones : Algorithme de Catmull-Clark

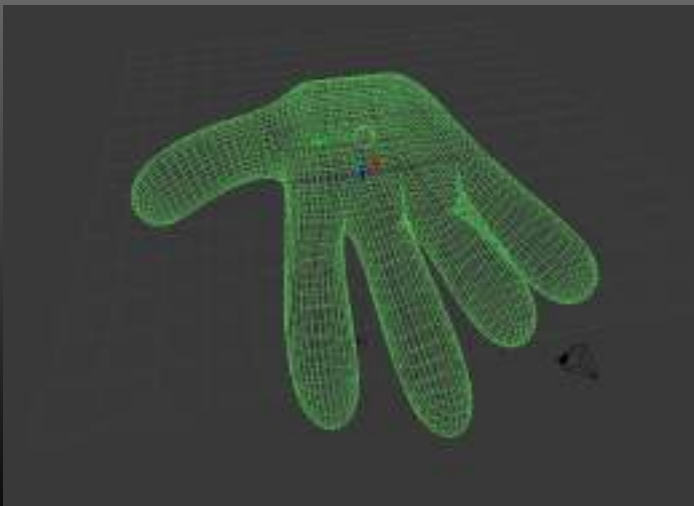
Exemple :



source : réalisé avec Blender

Lissage de polygones : Algorithme de Catmull-Clark

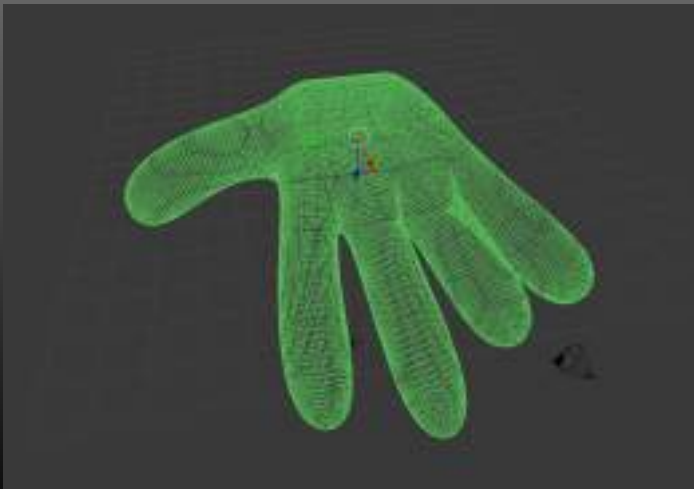
Exemple :



source : réalisé avec Blender

Lissage de polygones : Algorithme de Catmull-Clark

Exemple :



source : réalisé avec Blender

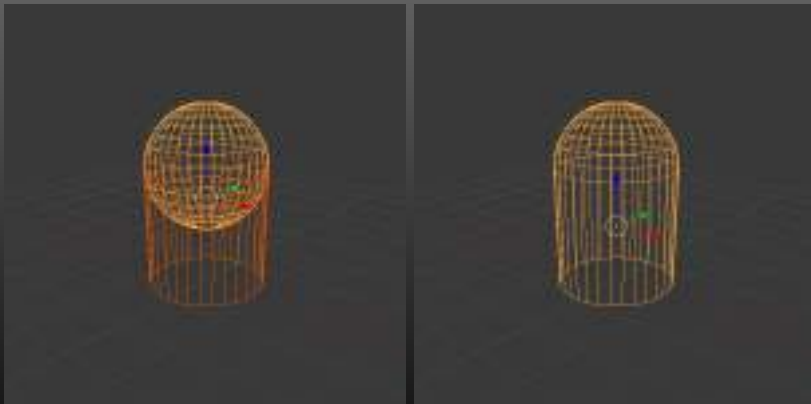
Modélisation par assemblage

C.S.G. : Constructive Solid Geometry

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

Modélisation par assemblage : C.S.G.

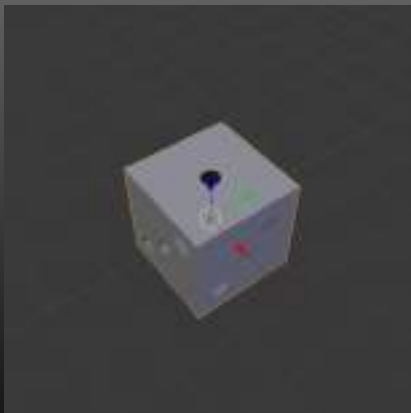
Union



source : réalisé avec Blender

Modélisation par assemblage : C.S.G.

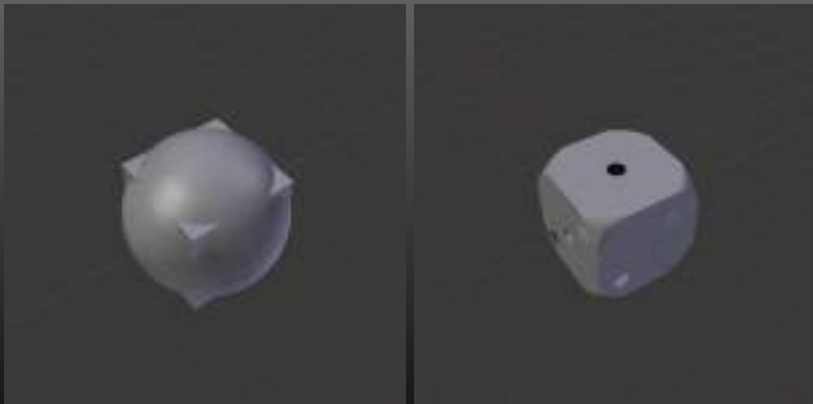
Intersection



source : réalisé avec Blender

Modélisation par assemblage : C.S.G.

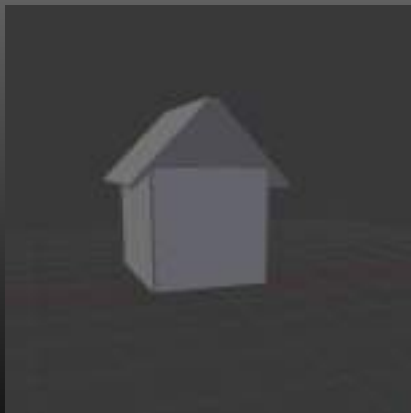
Intersection



source : réalisé avec Blender

Modélisation par assemblage : C.S.G.

Différence



source : réalisé avec Blender

Modélisation par assemblage : C.S.G.

Différence

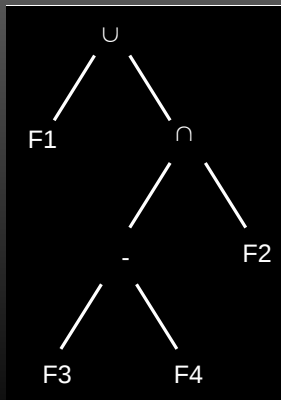


source : réalisé avec Blender

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. : $-1, 0, 1$
 - $F_{A \cap B}(p) = \max(F_A(p), F_B(p))$
 - $F_{A \cup B}(p) = \min(F_A(p), F_B(p))$
 - $F_{A - B}(p) = \max(F_A(p), -F_B(p))$

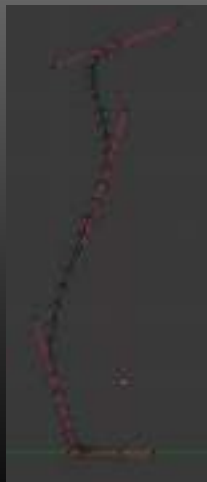
Modélisation par révolution

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

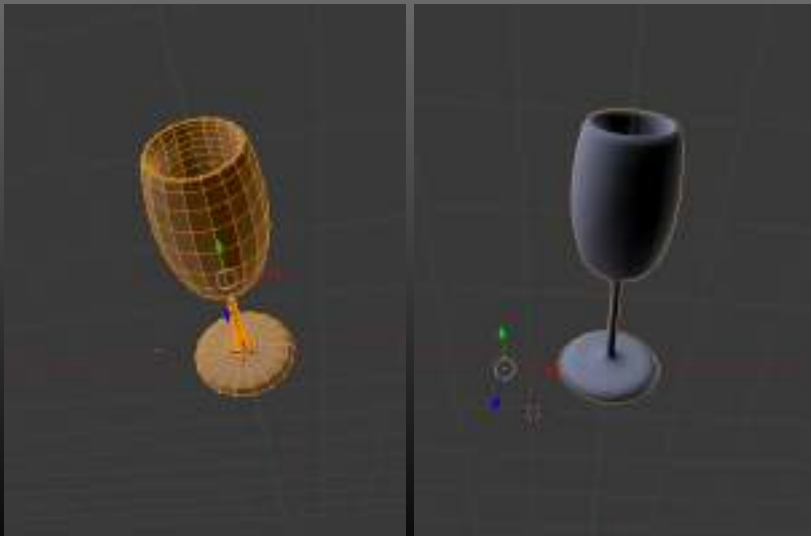
Tracé du contour



source : réalisé avec Blender

Modélisation par révolution

Rotation du contour



source : réalisé avec Blender

Modélisation par révolution

Rotation du contour



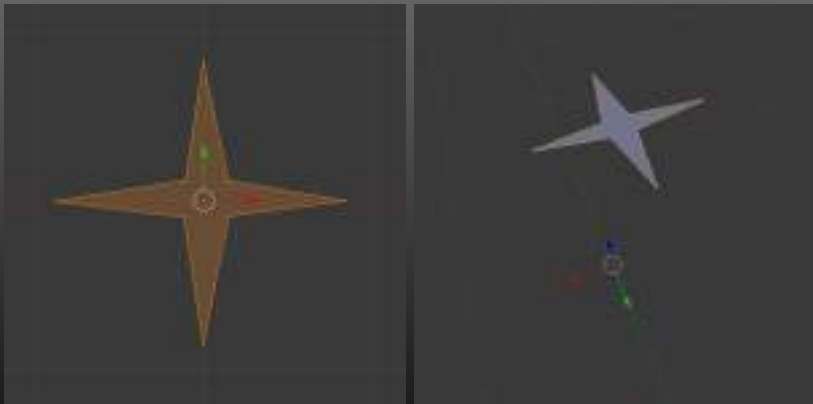
source : réalisé avec Blender

Modélisation par extrusion

Modélisation par extrusion

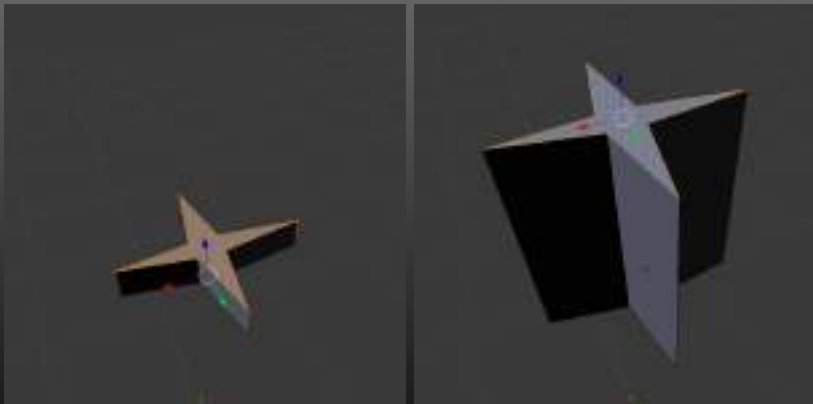
- ▶ L'objet est construit par une surface suivant une trajectoire
- ▶ Le chemin peut être plus ou moins compliqué

Modélisation par extrusion



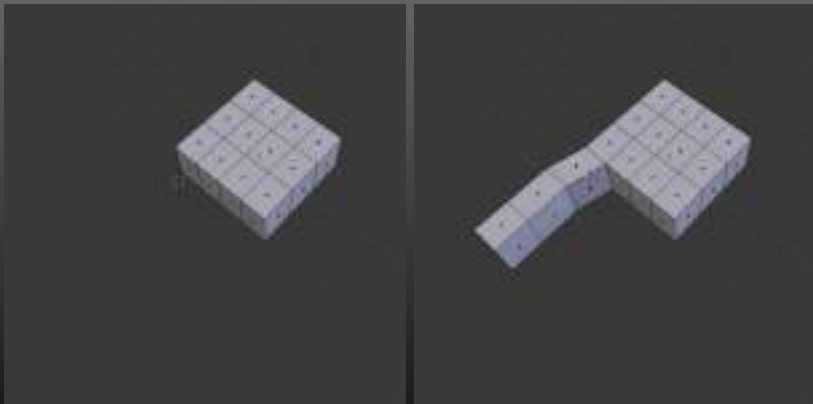
source : réalisé avec Blender

Modélisation par extrusion



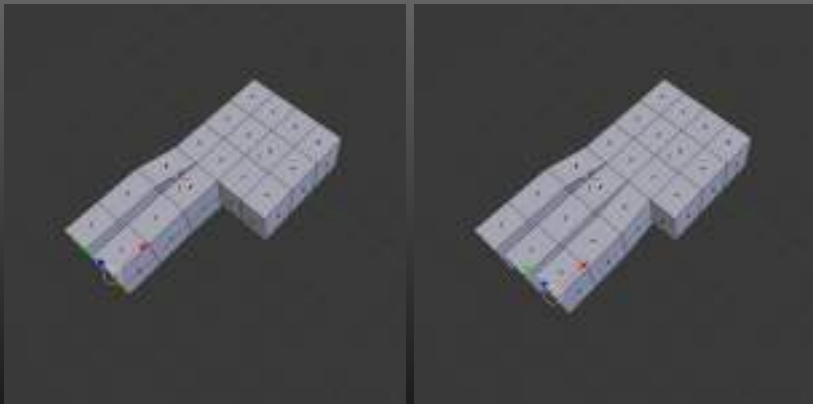
source : réalisé avec Blender

Modélisation par extrusion



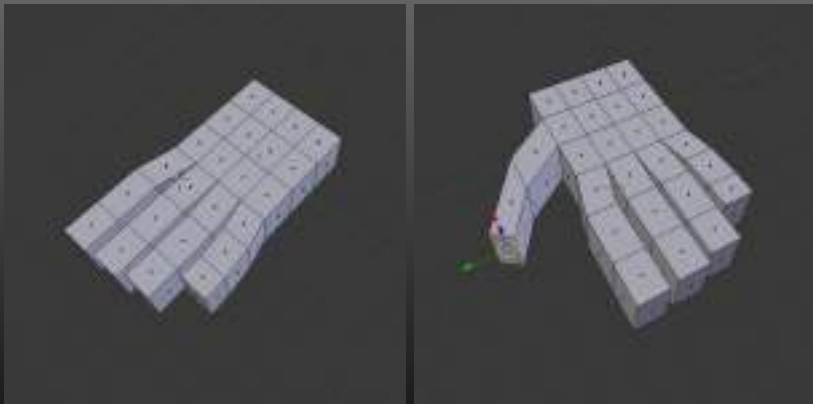
source : réalisé avec Blender

Modélisation par extrusion



source : réalisé avec Blender

Modélisation par extrusion

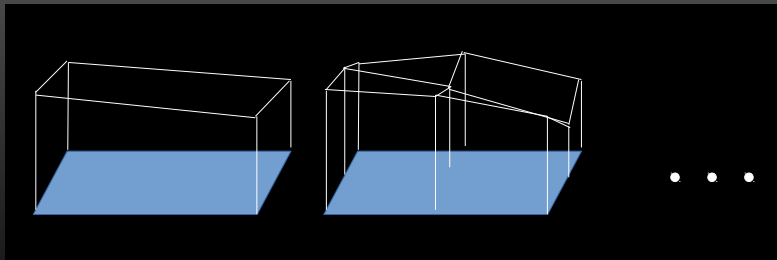


source : réalisé avec Blender

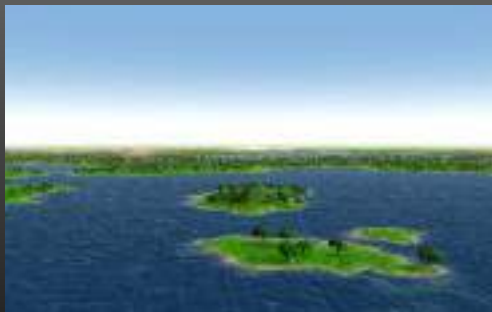
Cartes d'altitudes

Permet généralement de représenter les terrains

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



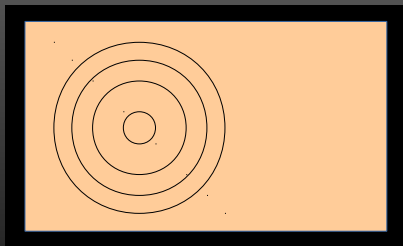
Cartes d'altitudes



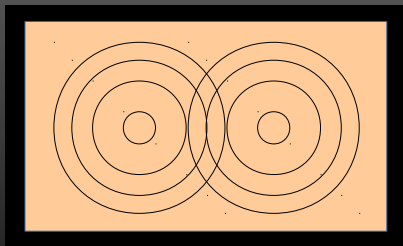
source : Matthieu Chopin

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.



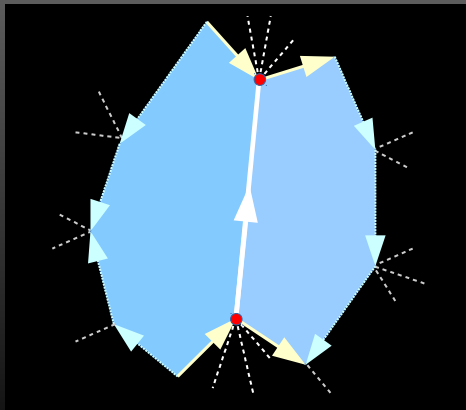
Codage des Formes/Maillages

- ▶ 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

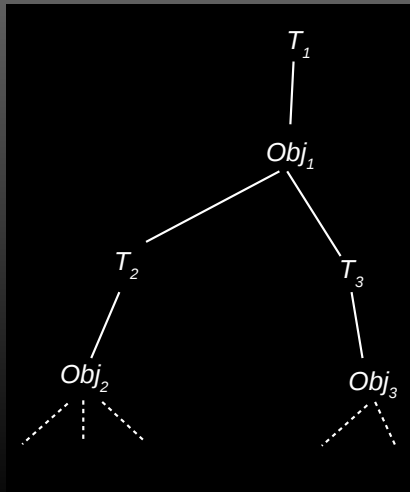
Un solide est modélisé par les éléments extérieurs

- ▶ 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

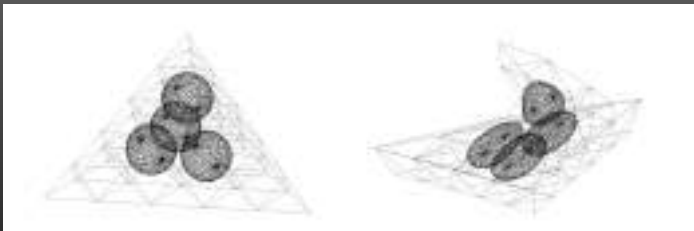
Modélisation d'une scène

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/](http://www.moondoganimation.com/)

Animation



source : Le monde de Nemo - Pixar

Animation



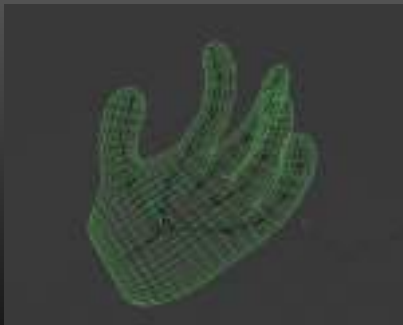
source : Pixar

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

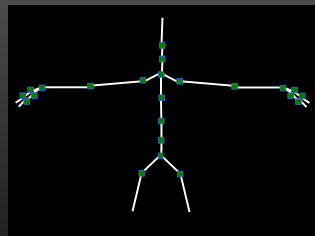
Animation de personnages



Animations difficiles

Animation de personnages

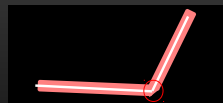
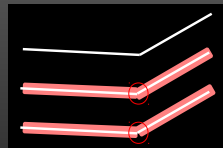
- ▶ Définition d'un « squelette »
 - ▶ Le corps humain comporte environ 200 os
 - ▶ Environ une centaine d'articulations
 - ▶ Assemblage de segments rigides
 - ▶ Structure arborescente hiérarchique
 - ▶ Rotation avec ajout de contraintes
- ▶ Cinématique inverse
 - ▶ Trouver la bonne position
- ▶ Le déplacement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



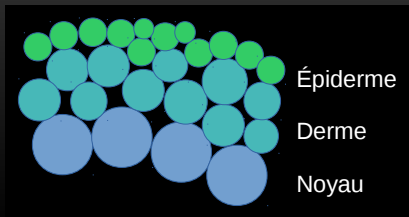
Animations difficiles

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 ?

Animation



source : Arg ?

Animation



source : Arg ?

Animation



source : Arg ?

Animation



source : Arg ?

Animation



source : Arg ?

Animation

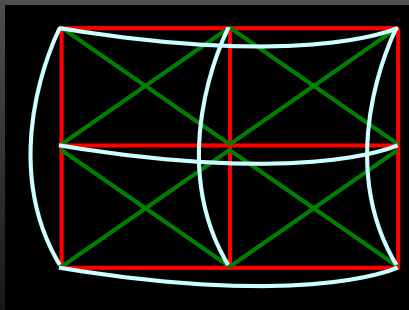


source : Arg ?

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

