

Synthèse d'images et animation

Modèles géométriques et leurs utilisations

Gilles Gesquière
Laboratoire LSIS
Gilles.Gesquiere@lsis.org

08/04/2011

1

Plan

- Modélisation géométrique
 - Partie 1 : De l'acquisition à la production d'une image fixe ou animée
 - Partie 2 : Quelques modèles géométriques
 - Partie 3 : Déformation de différents types de modèles
 - Suivi d'organes/ recherche d'endocranes
 - Couplage de codes de calculs
 - Application à la reconstruction de petits corps célestes
 - Application à la recherche d'empreintes pour le transfert vers d'autres codes de calculs.

08/04/2011

2

Plan

- Modélisation géométrique
 - **Partie 1 : De l'acquisition à la production d'une image fixe ou animée**
 - Partie 2 : Quelques modèles géométriques
 - Partie 3 : Déformation de différents types de modèles
 - Suivi d'organes/ recherche d'endocranes
 - Couplage de codes de calculs
 - Application à la reconstruction de petits corps célestes
 - Application à la recherche d'empreintes pour le transfert vers d'autres codes de calculs.

08/04/2011

3

Introduction- La synthèse d'images au service du cinéma



08/04/2011

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

4

Introduction- La synthèse d'images au service du jeu

- 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*



08/04/2011

5

Introduction- La synthèse d'images au service du jeu "sérieux"



08/04/2011

<http://www.helisim.net/>

Introduction- La synthèse d'images au service de la CAO

- Modélisation de maquette
- Logiciels de constructions: de la conception à la fabrication (toujours l'interactivité)
 - Une représentation mathématique de la surface qui doit être précise et adaptée aux contraintes de fabrication (continuité, découpage, assemblage, discrétisation...)
 - Doit aussi supporter les modèles de tests physiques (aérodynamique, résistance des matériaux...)
- ...



7

Introduction- La synthèse d'images au service de l'architecture



08/04/2011

<http://stellar.mit.edu/S/course/6/fa07/6.837/materials.html>

8

Introduction- La synthèse d'images au service de l'architecture

- Modélisation d'environnements réels ou imaginaires
- Modélisation adaptée à l'animation et la navigation "temps réel"
- Dépend fortement de l'application (simulation de ville, visite virtuelle, un monde où l'on évolue, les simulateurs en immersion...)



<http://www.pixxim.fr>



9

Introduction- La synthèse d'images au service de l'architecture

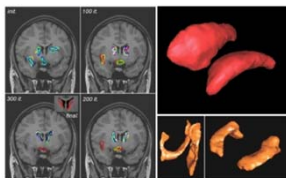
aero
data

P I X X I M
Maquettes virtuelles interactives



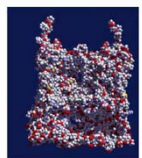
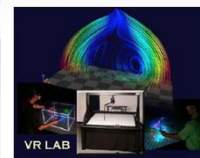
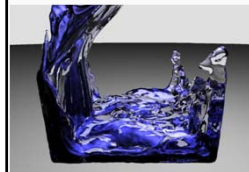
Introduction- La synthèse d'images au service de la médecine

- Visualisation de données scanner (surfactive ou volumique)
- Reconstruction des organes
- Simulation de déformations (opération virtuelle)



11

Introduction- La synthèse d'images au service de la visualisation scientifique



<http://stellar.mit.edu/S/course/6/fa07/6.837/materials.html>

12

Vers un compromis Réalisme / Temps Réel

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

Réalisme

Temps réel



Place et rôle du modèle

- Un modèle- des modèles ?
 - Avec un modèle par point de vue
 - Incohérence rapide au niveau de la géométrie
 - Le modèle est-il un modèle d'application ?
 - Comme un modèle pour le calcul,
 - Comme un modèle pour l'usinage,
 - Comme un modèle pour la visualisation
 - Ou une structure centrale ?
 - La géométrie est fédératrice
 - Même s'il ne s'agit pas toujours de la même géométrie
 - La géométrie apparaît quasiment dans tous les points de vues

Place et rôle du modèle

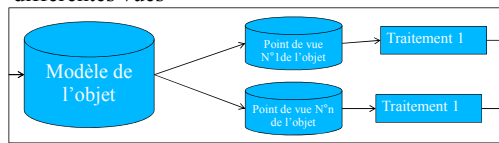
- En CAO, le plan « d'antan » contenait beaucoup d'autres informations que la géométrie
 - Epaisseur des traits
 - Cotation
 - Texte
 - Cartouche
 - ...

Place et rôle du modèle

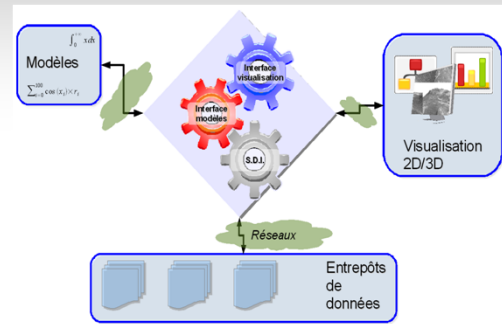
- Tendance actuelle
 - Essayer de retrouver cette richesse
 - Introduire de la sémantique dans le modèle
 - Feature ou entités
 - Modélisation déclarative
 - Apport essentiel d'XML

Place et rôle du modèle

- Le modèle géométrique est au cœur
- Doit permettre des points de vue adaptés
 - Pour les différents acteurs agissant sur un objet
 - En gardant la cohérence
- Doit pouvoir intégrer les actions des acteurs sur les différentes vues



Place et rôle du modèle



18

Place et rôle du modèle

- Utilisation de modèles de simulations physiques
 - Le modèle numérique doit maintenant servir de support à des simulations plus complexes.
 - Simulation à grande échelle

19

Place et rôle du modèle

- Le modèle numérique doit maintenant servir de support à des simulations plus complexes.
 - Simulation à grande échelle
 - Simulations à différentes échelles



Sans débroussaillage

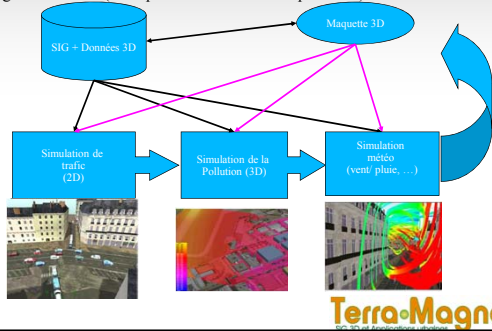


Avec débroussaillage



Place et rôle du modèle

- Couplage de modèles (exemple du scénario trafic/ pollution)

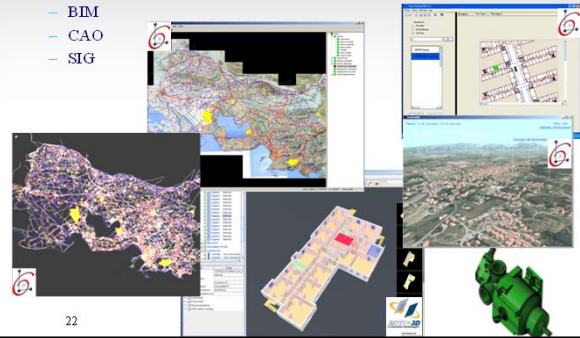


21

Terra-Magna

Exemple : Villes virtuelles et Modèles – Comment échanger les données ?

- Les villes virtuelles se retrouvent à l'interface de plusieurs mondes qui étaient autrefois complètement séparés



22

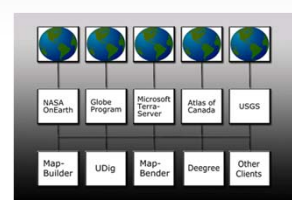
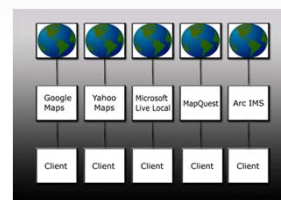
Rendre les donnéesinteropérables

- **Interopérabilité** : capacité d'un produit / système à fonctionner avec d'autres produits / systèmes
- Norme / Standard :
 - Indicateur de la façon dont le dialogue entre les divers éléments doit s'opérer
 - Passerelle de communication, qui peut éventuellement s'adapter aux besoins changeants des éléments
- Instances de normalisation / standardisation
 - AFNOR
 - ISO
- Unification des paramètres
 - Simplification
 - Diminution des coûts
 - Valorisation par rapport aux clients
 - Facilité des échanges (clients, sous-traitants)
- Capitalisation du savoir

23

Rendre les donnéesinteropérables

- Intérêt de formats neutres pour les échanges



Rendre les données interopérables

- Un vrai besoin d'échange entre systèmes
- En 1980 création de la version 1 d'IGES
 - Initial Graphics Exchange Specification
 - Géométrie, données graphiques, annotations
 - Norme ANSI en 1981
- IGES : format d'échange de modèle 2 ou 3D (version 6)
 - Format ASCII de plus en plus riche
- Certains formats propriétaires s'imposent de fait
 - DXF d'Autocad

Rendre les données interopérables

- STEP : Standard for Exchange of Product Model Data, norme ISO (ISO 10303)
 - Comment représenter et échanger les informations entre les modèles numériques
- Doit permettre de couvrir tout le cycle de vie du produit
- Norme « multi-parties », extensibles
- Projet excessivement ambitieux (déjà une dizaine d'années)
 - Les parties de bases sont terminées
 - Nombreuses AP à faire (Application Parts)
- Langage de description permettant de décrire n'importe quelle information d'ingénierie : EXPRESS)

Rendre les données interopérables

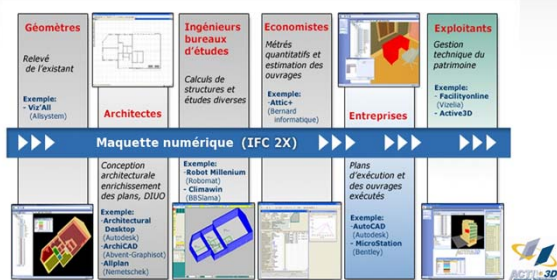
- Information géographique :
 - ISO TC 211
 - Open Geospatial Consortium (OGC)
 - CEN TC/ 287
 - AFNOR Commission Information Géographique et Spatiale
 - 3D : Consortium Web3D, BuildingSMART
- Données CAO : Open Design Alliance
- Standards dédiés technologies graphiques (calcul, accélération) : Groupe Khronos

Rendre les données interopérables

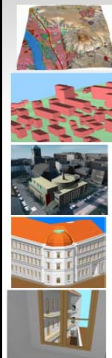
- ISO TC 211 :
 - ISO/TS 19103 : utilisation d'UML pour info géographique
 - ISO 19107 : modèle géométrique + topologique, 2D / 3D
 - ISO 19108 : modèle temporel
 - ISO 19125-1 : Simple Feature access + **Partie 2 (SQL)**
 - ISO 19123 : modèle harmonisé 2D ou multidimensionnel et spatiotemporel pour l'imagerie couverture « coverage »
 - ISO 19136 ⇔ standard OGC **GML** 3.2.1 : format pour données géo 2D et 3D
- Développement de schémas d'application en réutilisant les composants définis dans les normes abstraites
- Échange de données :
 - Schéma d'application (UML) ⇒ codage Schéma XML (conforme à GML)

Rendre les données interopérables

- Normes pour les bâtiments : Les IFC (ISO/PAS 16739).



Norme de modélisation urbaine CityGML (OGC CityGML1.0)



- Modélisation thématique** : bâtiments, réseaux de transport, hydrographie, végétation, relief du terrain, occupation des sols (OCS), mobilier urbain, textures...
- Gestion du **multi-échelle**
 - LOD0 : régional, représentation du terrain, OCS, réseaux transport
 - LOD1 : ville, bâtiments à toits plats
 - LOD2 : quartier, projets, structures des toits, végétation et mobilier urbain (généralisé)
 - LOD3 : modèle architectural (extérieur) et infrastructures ou objets urbains, végétation et mobilier urbain détaillés
 - LOD4 : modèle architectural (intérieur) (en cohérence avec modèle IFC)
- Modélisation des données 2D (surfiques) à 3D (solides) (de type vectoriel) avec possibilité de texturation
- Références externes: référencement d'objets de bases de données externes. Par ex. un bâtiment peut être lié à un objet d'une base de données cadastrale
- Schéma d'application GML3

Norme et standards orientés visualisation

- VRML** (Virtual Reality Markup Language) : ISO 14772 + GeoVRML
- X3D** : format à structure modulaire :
 - 4 profils de complexité croissante dont profil Total (Full) avec capacité géospatiale
 - Objets discrets ou continus, compression de géométrie, humanoides, GéoRef, CAO
 - Embarque l'environnement de visualisation (caméra, point de vue, lumière, effets, ...)
 - Scriptable, XML, utilisable dans WebGL
 - ISO 19775 (architecture et capacités abstraites), ISO 19776 (encodages en VRML et XML), ISO 19777 (API)
- Collada** : objets 2D et 3D (Khronos Group)
- U3D** (Universal 3D) : standard de fichier 3D (Ecma International) orienté publication
- KML** (Keyhole Markup Language) 2.2 (OGC). Des objets 3D modélisés par des fichiers COLLADA peuvent y être référencés

31

Comparaison des standards de modélisation et de représentation 3D

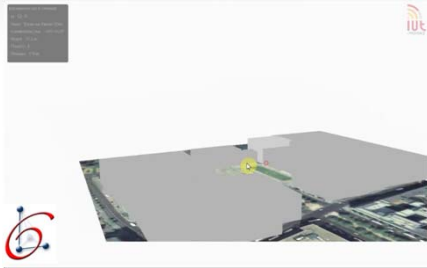
Standard	X3D	U3D	KML	COLLADA	IFC	CityGML
Capacité						
Géométrie	+	+	0	+	++	+
Topologie	0	0		0	+	+
Sémantique	0			0 à +	++	++
Géoréférencement	+		+		(IFG) +	++
Apparence (textures)	+	+	0	++	0	+
Linking / embedding (gestion de donnée intégrée ou liée (référéncée))	+		++	++		++

Légende :
 vide : non supporté
 0 : support de niveau basique
 + : support nominal (sophistiqué)
 ++ : support exhaustif

32

Normes et standards orientés visualisation pour l'information géospatiale

WebGL permet l'accès aux capacités graphiques de la machine cliente, pour l'affichage mais aussi pour le calcul



33

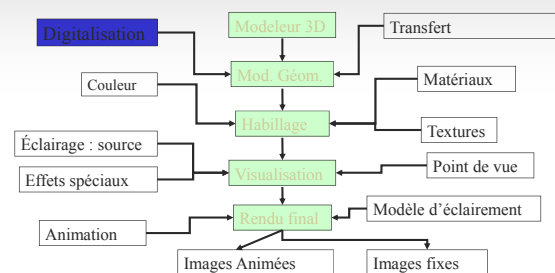
Qualité et complexité

- Le premier souci doit être la qualité du modèle et des procédures
 - Correction
 - Adéquation aux besoins
 - Robustesse
 - Précision
 - Stabilité
 - Gestion des cas particuliers
 - ...

Qualité et complexité

- Le deuxième souci doit être celui de la complexité à qualité équivalente
 - Dimensionnelle (2D, 3D, nD)
 - Mémoire
 - Attention à l'explosion possible
 - Temporelle

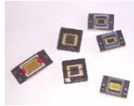
Plan



36

Digitalisation 2D

- Scanner :
 - A plat, diapositive, à défilement : résolution 1200x2400 dpi, A4, capteur CCD défilant, couleurs 24, 32 voire 48 bits,
- Scanner diapositive :
 - 1800x1800 dpi, 19200x19200 par interpolation, surface de numérisation 24x36 mm, à défilement : 300 dpi, 1 seule page
- appareil photo :
 - prise de vue par caméra CCD.
- caméra :
 - technique idem à appareil photo, traite un flux de 25 im/s, résolution 720x576 (DV).



Digitalisation 3D

➤ point par point



➤ corrélation d'images 2D

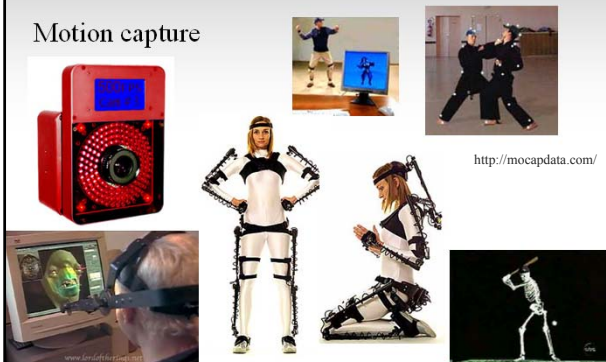


➤ scanner 3D

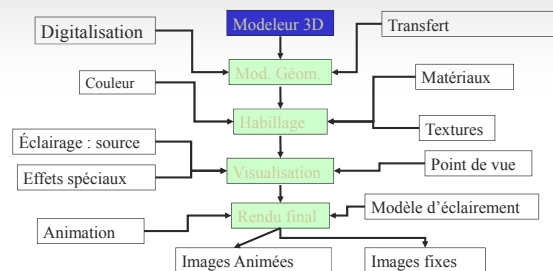


Digitalisation

Motion capture

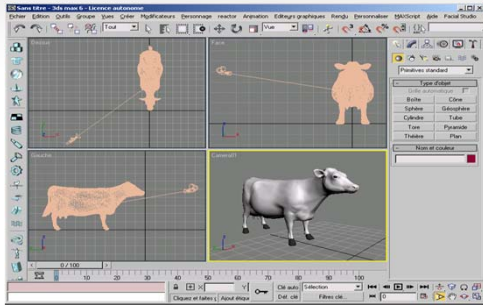


Plan

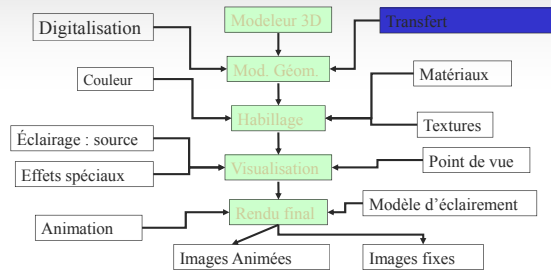


Modeleur 3D

- 3DS Max, Maya, Blender, ...



Plan



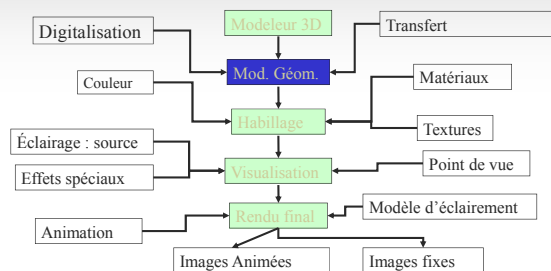
42

Tansfert

- Utilisation de formats de fichiers connus permettant de transférer les objets
- Les formats dépendent du type d'objets que l'on va utiliser (surfamique, volumique, ...). Voir plus tard dans la présentation
- Certains formats sont des standards de faits; d'autres s'appuient sur des normes

43

Plan



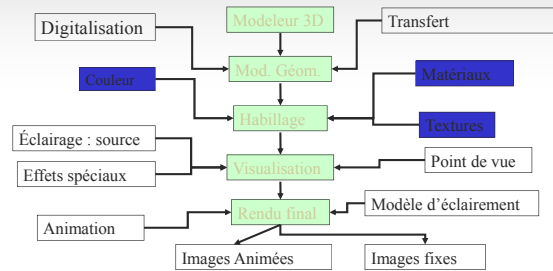
44

Modélisation géométrique

- C'est le coeur de notre exposé
- Utilisation de modèles surfaciques
 - Points
 - faces
- Utilisation de modèles volumiques
 - Cubes
 - Primitives simples
- Représentation continue ou discrète
- On y revient après ...

45

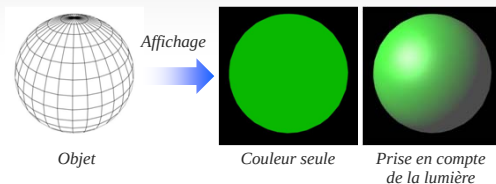
Plan



46

Habillage- Couleur

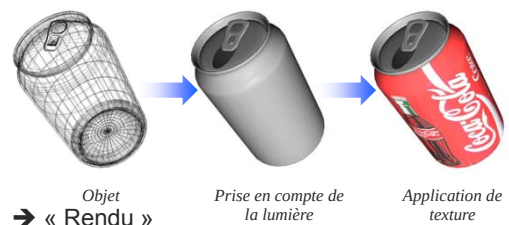
Utiliser seulement la couleur de l'objet ne donne pas de résultat réaliste.



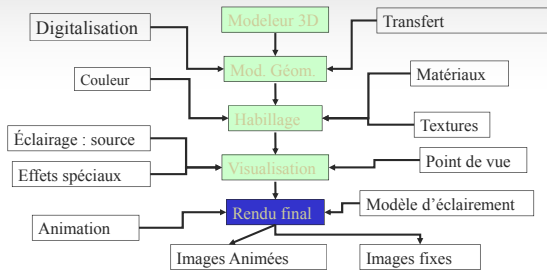
→ Il faut prendre en compte les interactions de la lumière avec les surfaces des objets.

Habillage- Texture

Après avoir défini un objet géométriquement (ex: liste de triangles), il faut l'afficher en tenant compte des sources de lumières, des propriétés de réflexion de sa surface, de sa texture, ...



Plan



49

Modèles d'éclairage

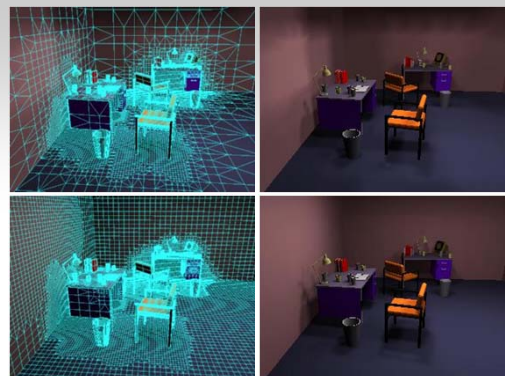
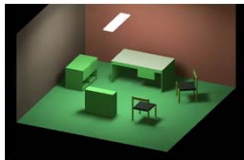
Les objets sont vus parce qu'ils réfléchissent la lumière.

Deux types de méthodes :

- illumination globale
- illumination locale

Illumination globale

Consiste à calculer l'influence de la lumière sur un objet provenant directement des sources de lumière, mais aussi de la lumière provenant indirectement de la réflexion par les surfaces des autres objets de la scène.

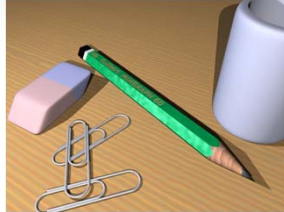


Influence de la taille, du nombre et de la position des patches sur la qualité de l'image obtenue par radiosité.

Illumination locale

Consiste à calculer l'influence de la lumière sur un objet provenant directement des sources de lumière, sans prendre en compte sa réflexion sur d'autres objets.

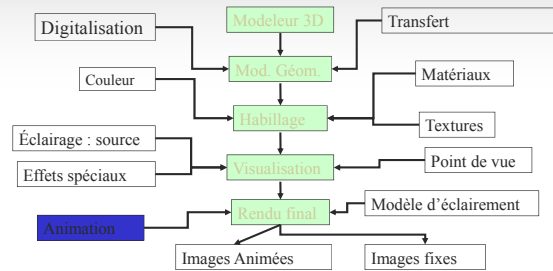
- Résultats moins réalistes
- Ombres très marquées



Plusieurs techniques :

- Lancer de rayons (« raytracing »)
- Balayage de lignes (« scanline ») (OpenGL, DirectX, ...)

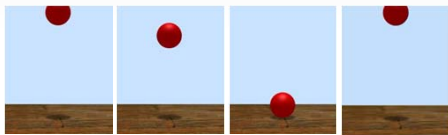
Plan



54

Animation

Animation = succession d'images fixes, à une fréquence suffisante pour « tromper » l'œil.

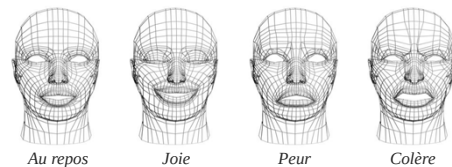


→ Animation en 3D : tenir compte du paramètre « temps ».

55

Animation- Interpolation position clés

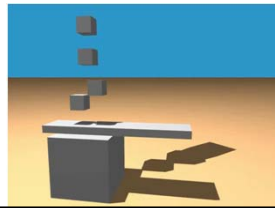
Animation de visage par interpolation entre des **expressions clés**. On peut doser l'importance d'une expression en jouant sur la « distance » entre l'expression au repos et une expression particulière.



56

Animation

- Utilisation d'expressions mathématiques (interpolations, ...)
- Cinématique directe et inverse
- Simulation dynamique



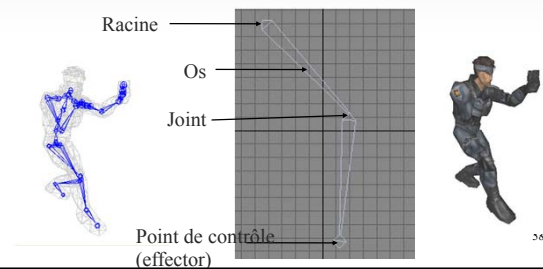
Animation- Cinématique

Squelette

Définit la charpente d'un objet.

On anime l'objet en animant le squelette.

En général, le squelette est défini par un ensemble de **chaînes**.



Animation- Cinématique

Contrôle d'une chaîne

- **Cinématique directe (« forward kinematics »)**
On spécifie directement l'angle de chaque joint de la chaîne.
- **Cinématique inverse (« inverse kinematics »)**
On spécifie la position du bout de la chaîne (« effector ») et on calcule automatiquement les angles des joints.

59

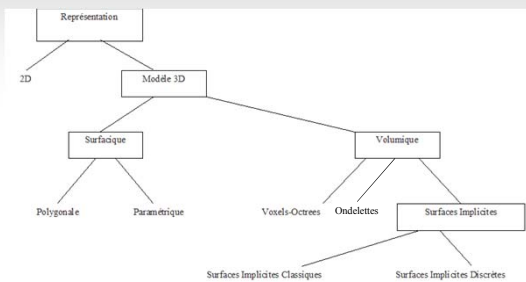
Partie 2

- Quelques modèles géométriques
 - Continu vs discret
 - Volumes
 - Surfaces

08/04/2011

60

Continu vs discret



Partie 2

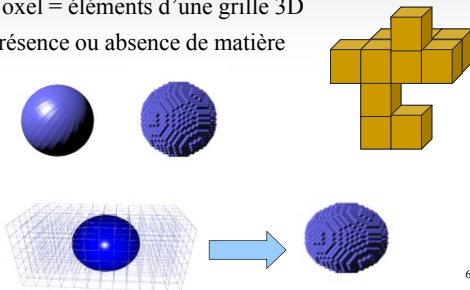
- Quelques modèles géométriques
 - Continu vs discret
 - **Volumes**
 - Surfaces

08/04/2011

62

Modèles Volumiques : Voxels

- Volumes discrets
 - Voxel = éléments d'une grille 3D
 - Présence ou absence de matière

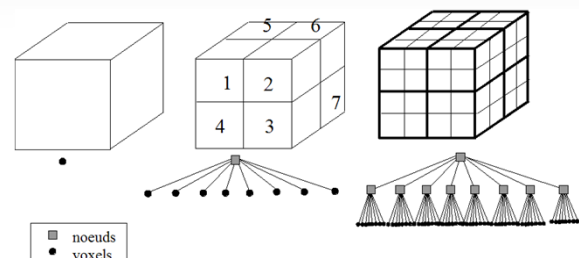


63

Modèles Volumiques : Octree régulier

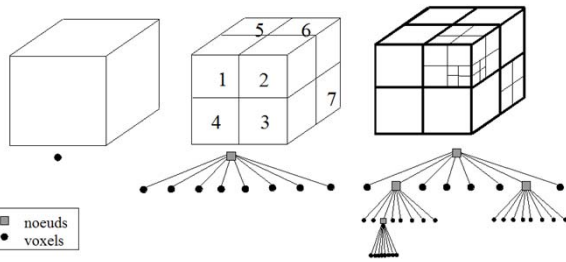
Arbre à huit branches.

Octree régulier : subdivise de façon récursive un volume cubique en huit sous-cubes de tailles égales. Les feuilles de l'octree sont appelées des « voxels ».

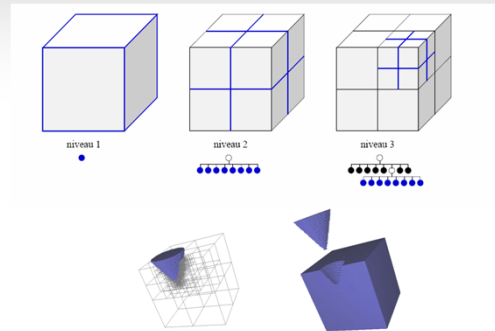


Modèles Volumiques : Octree adaptatif

Octree adaptatif, la profondeur de chaque branche peut être de taille différente
Permet de subdiviser l'espace de départ de façon irrégulière.



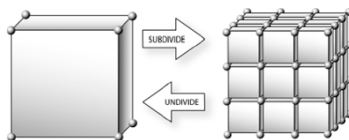
Modèles Volumiques : Octree adaptatif



66

Modèles Volumiques : n-tree

- Réduire encore le nombre de cubes

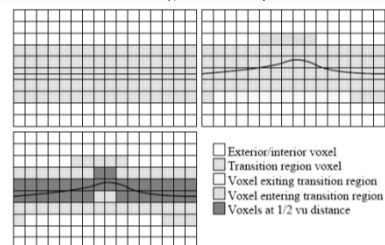


08/04/2011

67

Modèles Volumiques : Level Set

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



08/04/2011

68

Modèles Volumiques : ondelettes

Énumération uniforme

Matrice 3D

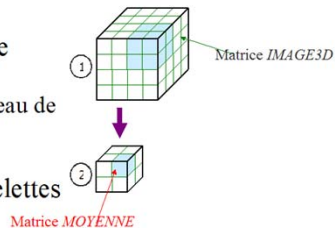
Données : binaire ou niveau de gris

Énumération par ondelettes

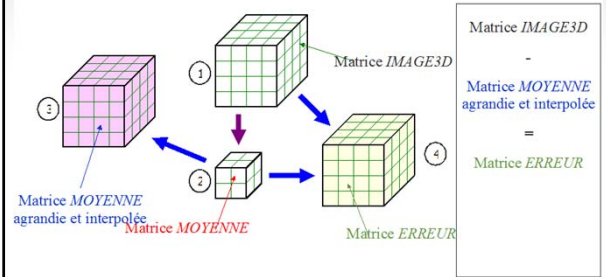
Matrices ERREUR

Matrice REDUC

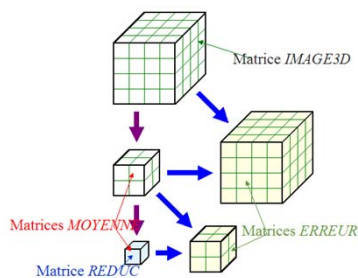
Niveau : n



Modèles Volumiques : ondelettes

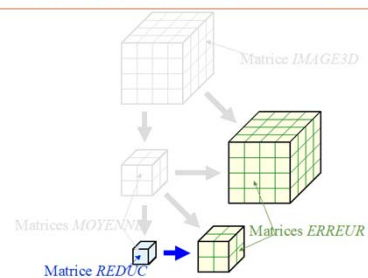


Modèles Volumiques : ondelettes

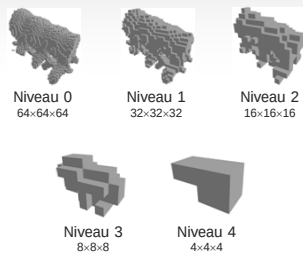


Modèles Volumiques : ondelettes

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



Modèles Volumiques : ondelettes



08/04/2011

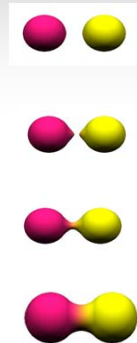
73

Modèles volumiques : 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 » : $f = f_1 + f_2$



08/04/2011

Modèles volumiques : Surfaces implicites

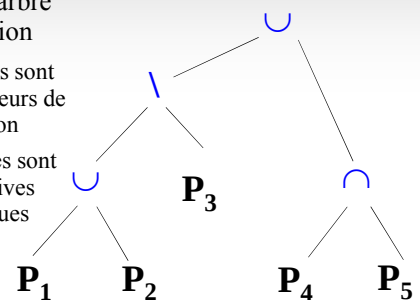
Surfaces implicites discrètes



Modèles volumiques : Arbres CSG

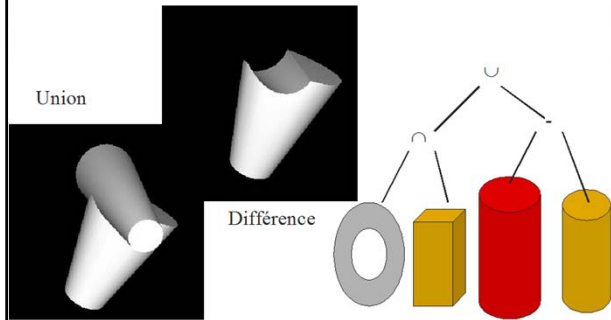
Constructive Solid Geometry : arbre de composition

- Les noeuds sont des opérateurs de composition
- Les feuilles sont des primitives géométriques



Modèles volumiques : Arbres CSG

Exemple avec 2 primitives :



Partie 2

Partie 2 : Quelques modèles géométriques

- Continu vs discret
- Volumes
- **Surfaces**

08/04/2011

78

Plan

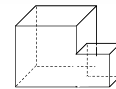
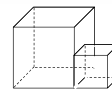
■ Modèles Surfaccques

- Discret
 - Level of details
 - Simplification
 - Subdivision
 - Simplexe
- Continu
 - Surfaces paramétriques

79

Modèles Surfaccque

- Boundary-Representation (B-rep)
 - Un modèle est représenté par ses bords
 - Pas de notion de volume
 - On peut représenter des solides



— B-Rep quelconque

B-Rep Solide

80

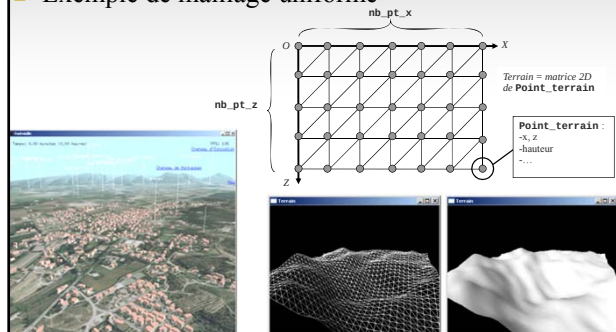
Modèles surfaciques Les maillages

- Un complexe linéaire par morceaux : les surfaces sont représentées avec des polygones. Le simplexe pour une face est le triangle.
- La continuité globale est C^0 (discontinuité de normales au niveau des arêtes).
- Ils définissent la géométrie tout en donnant une topologie de la surface
- C'est actuellement une structure standard pour afficher des scènes complexes en 3D
- Leur visualisation et leur manipulation est optimisée par la grande majorité des cartes graphiques actuelles.



Modèles Surfacique Les maillages

■ Exemple de maillage uniforme



Modèles Surfacique Les maillages

- Exemple des terrains
 - **Problème** : Un terrain peut parfois représenter des millions de faces.
 - Impossible d'afficher en temps réel une zone de plusieurs km^2 (nécessaire pour des simulateurs de vol par exemple)



08/04/2011

83

Modèles Surfacique Les maillages



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

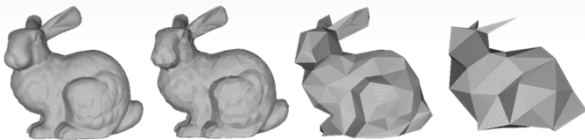
→ Il existe de nombreuses techniques de simplification / raffinement

08/04/2011

84

Modèles surfaciques Simplifier des maillages

- Représentations à plusieurs niveaux de détail (LOD: Levels Of Details)



69,451 polys

2,502 polys

251 polys

76 polys

Courtesy Stanford 3D Scanning Repository

08/04/2011

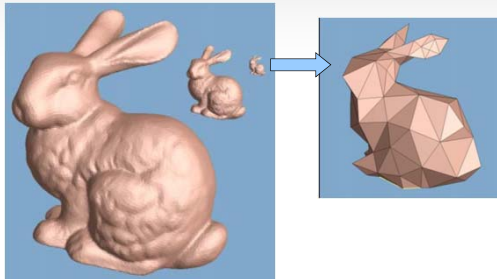
85

LOD

- Agir sur la géométrie des objets
 - Rendu dépendant du point de vue
 - Rendu de scènes comportant un grand nombre d'objets (surtout pour la navigation interactive)
 - Visualisation de terrains
 - Transmission progressive de la géométrie via le réseau
 - etc
- Trois types de LOD
 - Discret
 - Continu
 - Dépendant du point de vue

LOD discret

- Différentes représentations du même objet sont calculées, chacune à un niveau de détail différent. Pendant l'exécution de l'application, une représentation de l'objet est sélectionnée et visualisée.



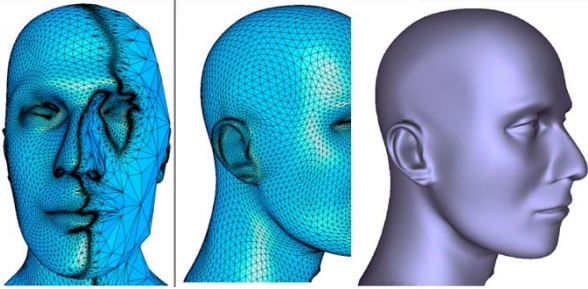
Amitabh Varshney : <http://www.cs.umd.edu/gvrl>

LOD continu

- Une seule structure représentant l'objet avec une représentation continue des détails. On peut adapter la résolution de l'objet au polygone prêt et ainsi utiliser le nombre exact de polygones pour représenter l'objet à la définition souhaitée. La géométrie est modifiée au cours de l'exécution de l'application.

LOD dépendant du point de vue

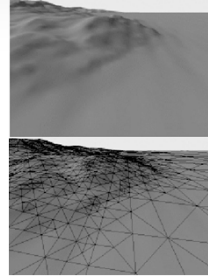
- C'est une extension des LOD continus qui intègre un critère de simplification qui est dépendant du point de vue. Ainsi cette représentation est anisotrope: différentes zones du même objet sont visualisées à des niveaux de détail différents.



LOD dépendant du point de vue

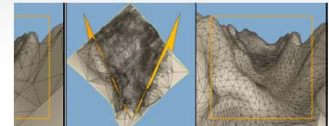
LOD : ROAM (Real-time Optimally Adapting Meshes)

- Génération de triangles à la volée en fonction du point de vue.



Progressive meshes.

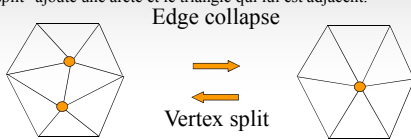
- Pré-calcul de la simplification



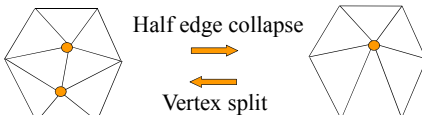
90

LOD- Méthodes locales- Edge collapse

- Cet opérateur transforme une arête en un sommet. L'opérateur inverse appelé "vertex split" ajoute une arête et le triangle qui lui est adjacent.

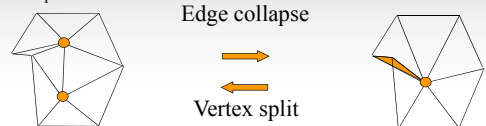


- Variante : "half edge collapse" où le nouveau sommet est une des extrémités de l'arête supprimée.

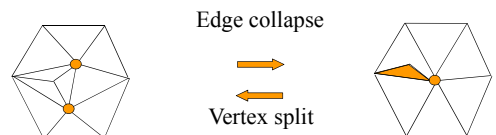


LOD- Méthodes locales Quand ne pas utiliser "Edge collapse"

- Attention au problème de recouvrement:



- Le maillage peut aussi devenir non conforme (forme des faces)

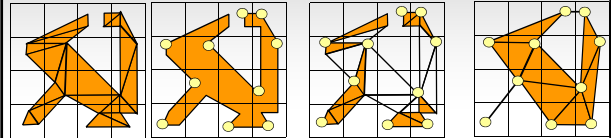


LOD- Méthodes locales Polygon merging

- Plusieurs polygones presque coplanaires et adjacents sont fusionnés en un seul polygone puis le nouveau polygone est triangulé.
- Cet opérateur généralise "vertex removal" (On enlève un sommet avec ses arêtes adjacentes. Le trou obtenu est alors triangulé.)
- Il peut être appliqué à un maillage composé de polygones quelconques (pas seulement des triangles).
- Plusieurs sommets peuvent être éliminés en une seule fois.
- Peut boucher les trous.

LOD- Méthodes locales Cell Collapse

- Tous les sommets qui sont dans un certain volume (cellule) sont unifiés en un sommet unique.



- Les sommets du maillage sont tout d'abord placés dans une grille régulière
- Tous les sommets étant dans une même cellule sont unifiés en un seul
- Tous les triangles qui ont 2 ou 3 de leurs sommets dans une même cellule sont simplifiés en une arête ou un sommet
- C'est un opérateur plus global que les précédents, mais il ne préserve pas la topologie. Le niveau de simplification dépend de la résolution de la grille.

Simplification structurale 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 :
 - dépendant souvent du point de vue.
 - éclairage.

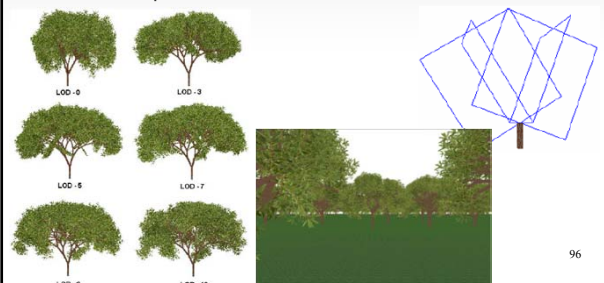
08/04/2011

95

Imposteurs

Arbres

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



96

3D + imposteurs



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>

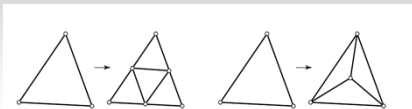
08/04/2011

97

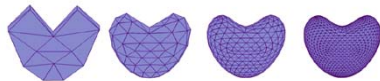
Simplifier ou subdiviser ?

- But : Avoir accès au même objet, mais avec des représentations ayant un nombre différent de polygones. Il s'agit donc de créer une hiérarchie de maillages. Ces hiérarchies peuvent être :
 - "Bottom-top": On part du modèle détaillé (les feuilles de la hiérarchie) et on va jusqu'à la forme la plus simplifiée. Les approches que l'on a vu jusqu'à maintenant, vont dans ce sens.
 - "Top-down": On part de la version simplifiée (la racine) et on ajoute progressivement des détails jusqu'à la représentation la plus fine. Des approches par surfaces de subdivision ou d'ondelettes suivent cette approche.

Raffinage/ Subdivision



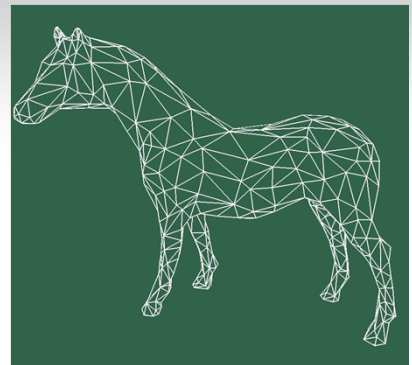
Raffinage par découpage de triangles



Subdivision (règle permettant de positionner les points d'un objet suite à un raffinement)

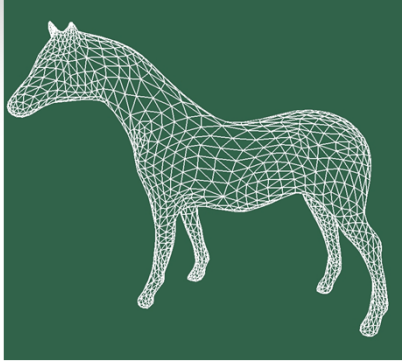
Exemple de subdivision

- Maillage initial



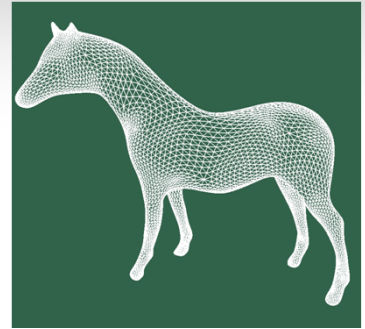
Exemple de subdivision

- Le maillage après un pas de subdivision



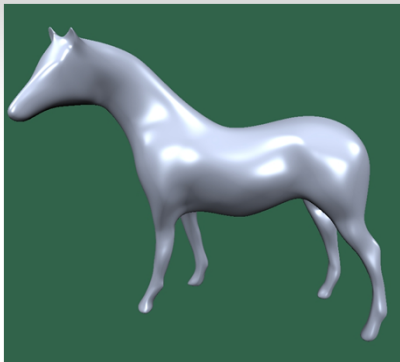
Exemple de subdivision

- Le maillage après deux pas de subdivision



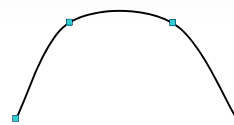
Exemple de subdivision

- La surface limite



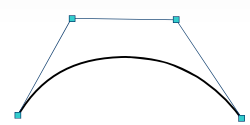
Rappel : Interpolation / Approximation

Interpolation



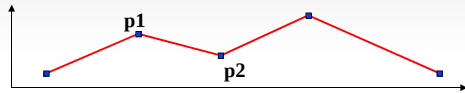
La courbe passe par les points de contrôle

Approximation



La courbe est attirée par les points de contrôle

Rappel : Polynômes linéaires par morceaux

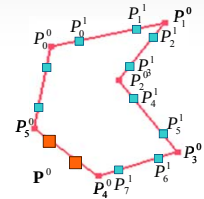


$$p(u) = up_1 + (1-u)p_2$$

Subdiviser une courbe : L'algorithme de Chaikin

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

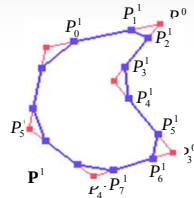
$$P_{2i+1}^{k+1} = \frac{1}{4}P_i^k + \frac{3}{4}P_{i+1}^k$$



Subdiviser une courbe : L'algorithme de Chaikin

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

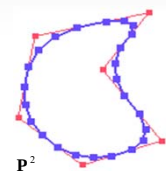
$$P_{2i+1}^{k+1} = \frac{1}{4}P_i^k + \frac{3}{4}P_{i+1}^k$$



Subdiviser une courbe : L'algorithme de Chaikin

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

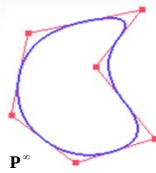
$$P_{2i+1}^{k+1} = \frac{1}{4}P_i^k + \frac{3}{4}P_{i+1}^k$$



Subdiviser une courbe : L'algorithme de Chaikin

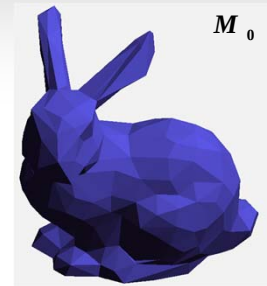
$$P_{2i}^{k+1} = \frac{3}{4}P_i^k + \frac{1}{4}P_{i+1}^k$$

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



Surface de subdivision

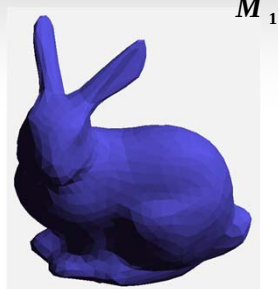
- Maillage initial
- Règles de subdivision



Surface de subdivision

- Maillage initial
- Règles de subdivision

$$M_1 = S \cdot M_0$$

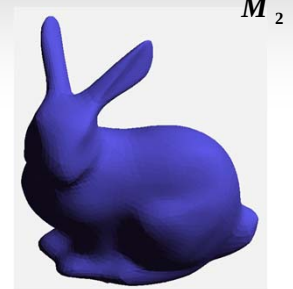


Surface de subdivision

- Maillage initial
- Règles de subdivision

$$M_2 = S \cdot M_1$$

$$= S_2 \cdot M_0$$

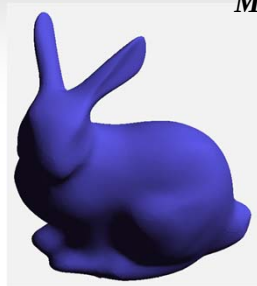


Surface de subdivision

- Maillage initial
- Règles de subdivision

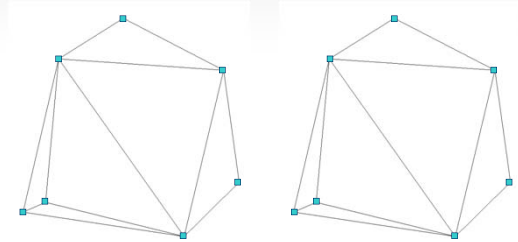
$$M_{k+1} = S \cdot M_k$$

→ Surface lisse

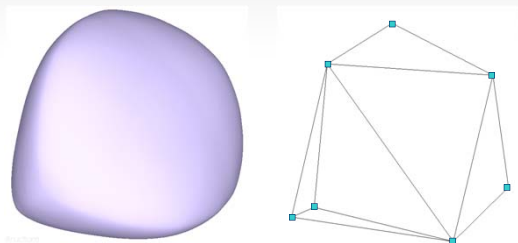


M_3

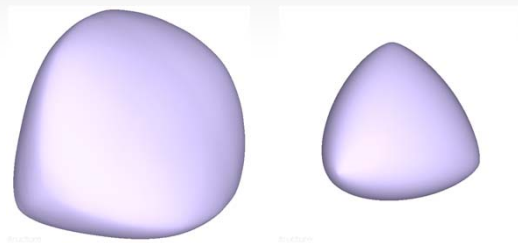
Interpolation / Approximation



Interpolation / Approximation

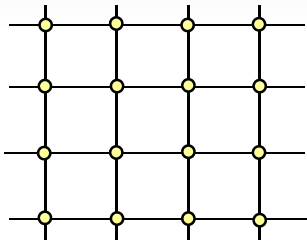


Interpolation / Approximation



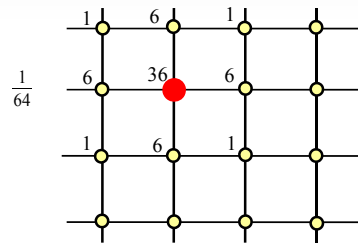
Principe de subdivision

- Généralisation des surfaces paramétriques à des polygones de contrôle quelconque



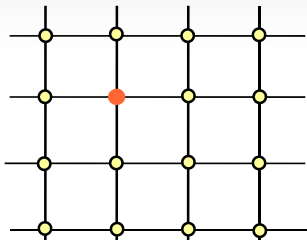
Principe de subdivision

- Généralisation des surfaces paramétriques à des polygones de contrôle quelconque
- Les sommets sont **déplacés** par une combinaison affine des sommets du maillage



Principe de subdivision

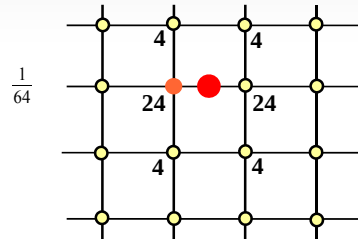
- Généralisation des surfaces paramétriques à des polygones de contrôle quelconque



Principe de subdivision

- Généralisation des surfaces paramétriques à des polygones de contrôle quelconque

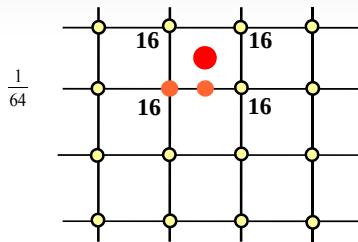
Des **nouveaux** sommets sont **ajoutés** par une combinaison affine des sommets du maillage



Principe de subdivision

- Généralisation des surfaces paramétriques à des polygones de contrôle quelconque

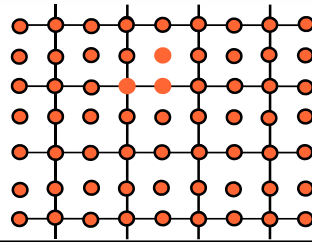
Des **nouveaux** sommets sont **ajoutés** par une combinaison affine des sommets du maillage



Principe de subdivision

- Généralisation des surfaces paramétriques à des polygones de contrôle quelconque

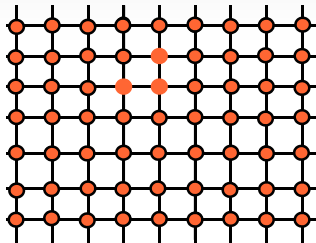
Le processus de déplacement / insertion est répété sur l'ensemble du polygone initial



Principe de subdivision

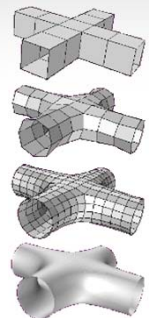
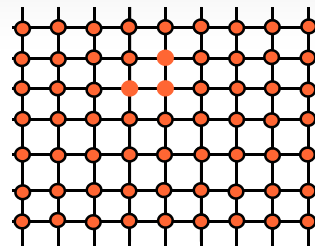
- Généralisation des surfaces paramétriques à des polygones de contrôle quelconque

Les nouveaux points sont maillés



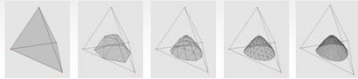
Principe de subdivision

- Généralisation des surfaces paramétriques à des polygones de contrôle quelconque

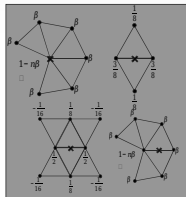
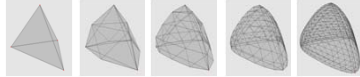


Principe de subdivision

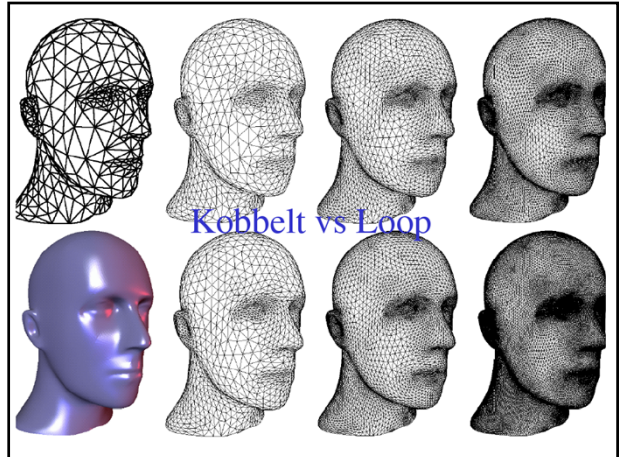
Loop



Butterfly



125



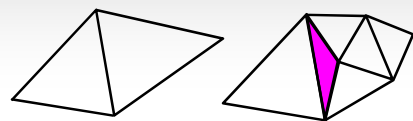
Kobbelt vs Loop

Subdivision adaptative

Principe de subdivision adaptative ou non-uniforme :

- Où subdiviser ?
Critère de subdivision
- Comment subdiviser ?
Règles de subdivision

Problème de la subdivision adaptative

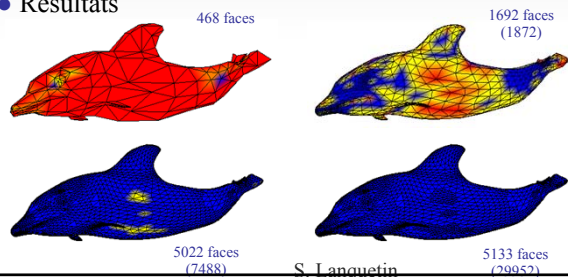


- Éviter les trous
- Générer un "petit" nombre de faces
- Obtenir un maillage progressif

Subdivision Adaptive

- Utiliser des règles pour subdiviser seulement certaines zones en fonction de critères

Résultats



Plan

Modèles Surfamiques

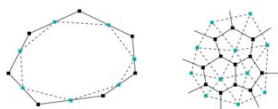
- Discret
 - Level of details
 - Simplification
 - Subdivision
 - **Simplexe**
- Continu
 - Surfaces paramétriques

130

Maillage simplexe

Un k -maillage simplexe de $\mathbb{R}^n$ est un maillage dont chaque sommet possède exactement $(k+1)$ voisins.

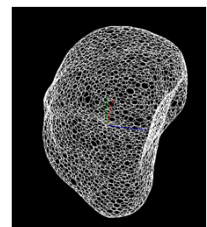
1-maillage simplexe $\Leftrightarrow$ polygone	2-maillage simplexe $\Leftrightarrow$ triangulation
Sommet $\Leftrightarrow$ arête	Sommet $\Leftrightarrow$ face
Arête $\Leftrightarrow$ sommet	Arête $\Leftrightarrow$ arête
	Triangle $\Leftrightarrow$ sommet



Extrait thèse Montagnat, 1999

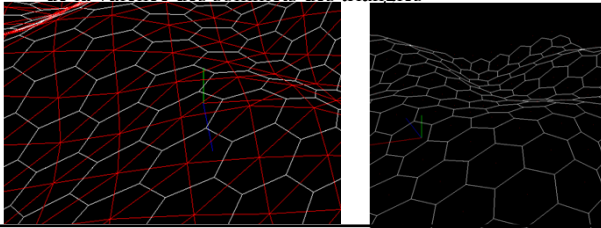
Maillage simplexe

- Les maillages simplexes permettent de prendre en compte
 - Des paramètres géométriques
 - Les changements de topologies
 - Des forces physiques afin de déformer le maillage

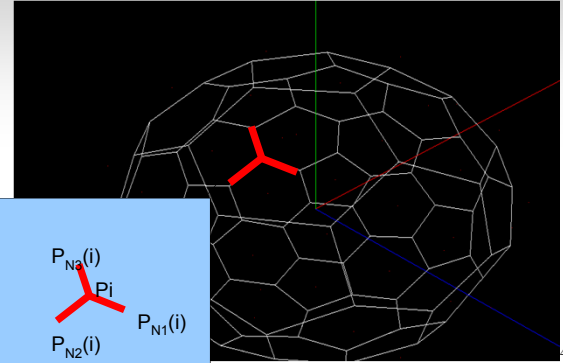


Maillage simplexe

- Calcul des cellules
 - Un sommet du maillage triangulaire devient le centre d'une maille
 - Le nombre de sommets composant la maille dépend donc de la valence des sommets des triangles

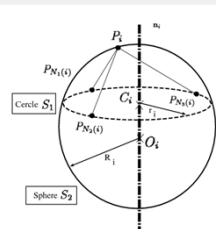


3- Utilisation des maillages simples



Maillage simplexe

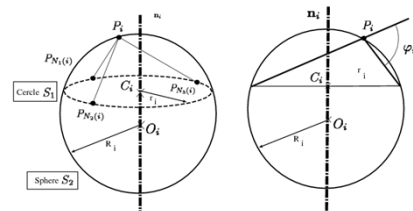
- Pour chaque sommet P_i du maillage simplexe, on stocke
 - Ses voisins $N1(i)$, $N2(i)$, $N3(i)$
 - Le centre du cercle circonscrit à ses voisins, ainsi que le rayon (r_i)
 - Le centre de la sphère circonscrite à ses voisins et au sommet ainsi que le rayon R_i



135

Maillage simplexe

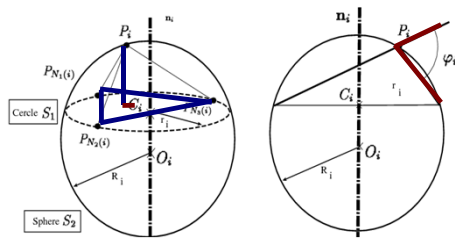
- La position du barycentre du triangle formé par les voisins ($N1(i)$, $N2(i)$, $N3(i)$)
- Le projeté de P_i sur le triangle ($N1(i)$, $N2(i)$, $N3(i)$)
- L'angle simplexe Φ_i



136

Maillage simplexe

- Caractérisation des déformations
 - Position du barycentre du triangle par rapport à son projeté
 - Valeur de l'angle simplexe

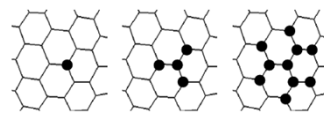


137

Maillage simplexe

- Déformation du maillage- Paramètre de raideur
 - Prise en compte du voisinage

$$\mathbf{F}_{Normal} = (L(r_i, d_i, \hat{\varphi}_i) - L(r_i, d_i, \varphi_i)) \mathbf{n}_i$$



$$\hat{\varphi}_i = \sum_{j \in Q^{+i}(P_i)} \varphi_j$$

138

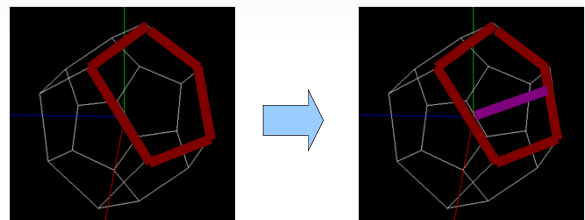
3- Utilisation des maillages simples

- Opérations de raffinement
 - Possibilité de
 - Raffinage global : on divise toutes les cellules
 - Raffinage local : on sélectionne les cellules en fonction d'un critère
- Opération de simplification de maillage (réduire la taille des mailles)
- Opération de régularisation (combiner raffinement et simplification)
- Possibilité de mettre en place une représentation multi-résolution

139

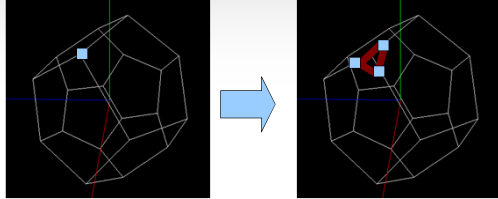
Maillage simplexe

- Opération de raffinement / simplification



Maillage simplexe

- Opération de raffinement / simplification

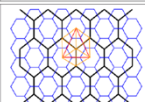
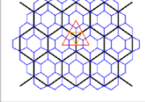


- Simplification possible
- Régularisation des mailles par combinaison des opérations de raffinement/ simplification

141

Maillage simplexe

Maillage multi-résolution

Method	
A	
B	

Plan

■ Modèles Surfamiques

■ Discret

- Level of details
- Simplification
- Subdivision
- Simplexe

■ Continu

- Surfaces paramétriques

143

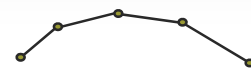
Surfaces paramétriques

■ 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

08/04/2011

144

Surfaces paramétriques

■ Rappels sur les courbes paramétriques

- Utiliser une représentation paramétrique

$$X=f(t)$$

$$Y=g(t)$$

$$Z=h(t)$$

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

08/04/2011

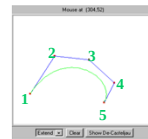
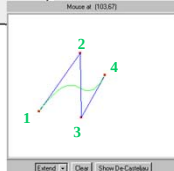
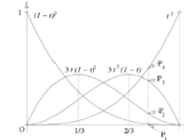
145

Surfaces paramétriques

La **pondération des points de contrôle** dans une courbe de Bézier à 4 points est donnée par les 4 **polynômes de Bernstein** suivants :

$$B_0^3(t) = (1-t)^3, \quad B_1^3(t) = 3t(1-t)^2, \quad B_2^3(t) = 3t^2(1-t), \quad B_3^3(t) = t^3$$

La **somme** des polynômes de Bernstein est **égale à 1**.

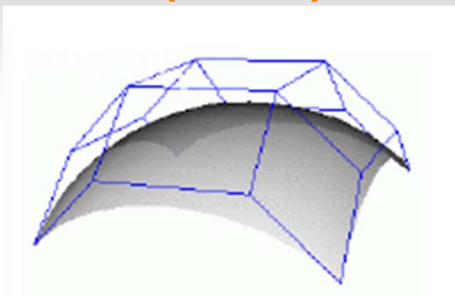


$$M(t) = \sum_{i=0}^n B_i^n(t) M_i$$

$$B_i^n(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} = \frac{n!}{i!(n-i)!} t^i (1-t)^{n-i}$$

$$\begin{cases} B_i^n(t) \in [0,1] & \text{quand } t \in [0,1] \\ \sum_{i=0}^n B_i^n(t) = 1 \end{cases}$$

Surface paramétrique (bézier)



08/04/2011

$$p(u,v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m B_i^n(u) B_j^m(v) \mathbf{k}_{i,j}$$

147

★ NURBS : DÉFINITION

Définition

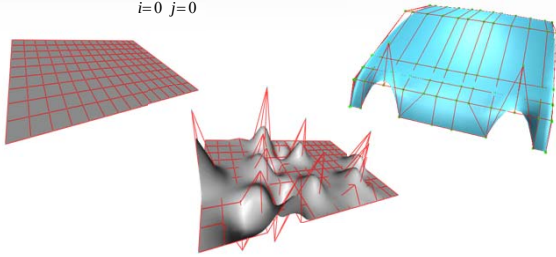
Une courbe **NURBS** (Non Uniform Rational B-Splines) d'ordre m est définie par :

- un vecteur de noeuds $T = (t_0, t_1, \dots)$,
- $n+1$ points de contrôle P_k
- $n+1$ fonctions de pondération $R_{m,k}$ déduites des fonctions de pondération des B-splines $S_{m,k}$ au moyen de $n+1$ **poïds** w_k (généralement choisis positifs stricts) :

$$R_{m,k}(t) = \frac{w_k S_{m,k}(t)}{\sum_j w_j S_{m,j}(t)}$$

Modèle de surface : NURBS (Non Uniform Rational B-Spline)

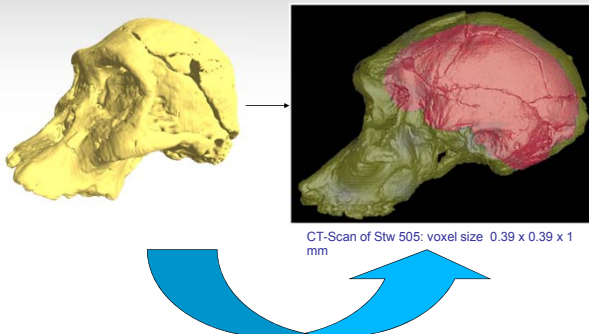
$$S(u, v) = \sum_{i=0}^{nu} \sum_{j=0}^{nv} P_{ij} \phi_i(u) \psi_j(v) \quad (u, v) \in D$$



Partie 3

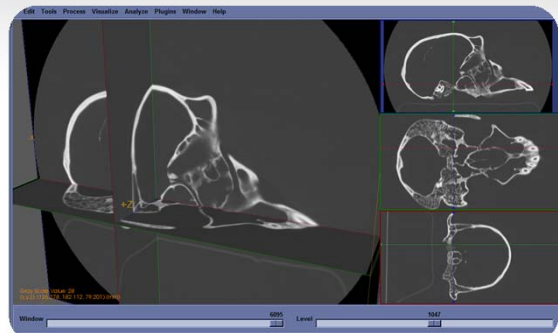
- Déformation de différents modèles
 - Maillage Simplexe
 - Surfaces paramétriques
 - Triangulaire

Déformation basée simplexe



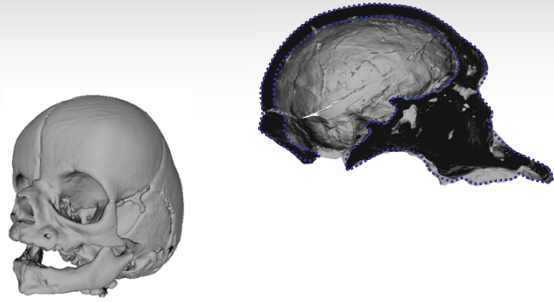
Pan troglodytes

- CT-Scan of a skull: 209 slices of 512×512 pixels
- Resolution: $0.461 \times 0.461 \times 0.600$ mm



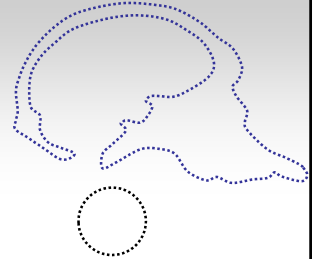
Principle of the method (endocast)

- The data are represented by a set of 3D points



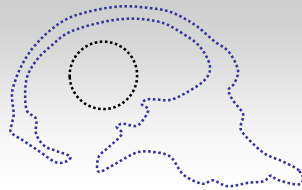
Principle of the method

- The data are represented by a set of 3D points
- Let a simple closed surface mesh composed of 3D vertices P_i (e.g. a sphere)



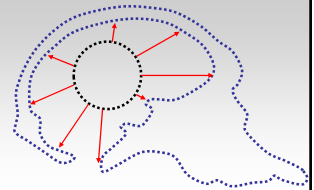
Principle of the method

- The data are represented by a set of 3D points
- Let a simple closed surface mesh composed of 3D vertices P_i (e.g. a sphere)
- The surface mesh is initially positioned "in the middle" of the data



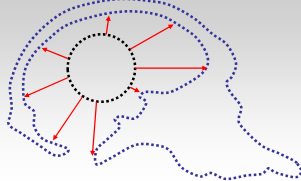
Principle of the method

- The data are represented by a set of 3D points
- Let a simple closed surface mesh composed of 3D vertices P_i (e.g. a sphere)
- The surface mesh is initially positioned "in the middle" of the data
- This surface will deform under the influence of:
 - an external force F_{ext} which attracts the vertices P_i towards the data
 - an internal force F_{int} which tends to keep the surface smooth (e.g. curvature continuity)



Principle of the method

- The data are represented by a set of 3D points
- Let a simple closed surface mesh composed of 3D vertices P_i (e.g. a sphere)
- The surface mesh is initially positioned "in the middle" of the data
- This surface will deform under the influence of:
 - an external force $\mathbf{F}_{ext}$ which attracts the vertices P_i towards the data
 - an internal force $\mathbf{F}_{int}$ which tends to keep the surface smooth (e.g. curvature continuity)

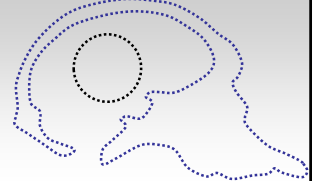


- At time t , all the vertices P_i follow the evolution law:

$$P_i^{t+1} = P_i^t + (1 - \gamma)(P_i^t - P_i^{t-1}) + \alpha_i \mathbf{F}_{int} + \beta_i \mathbf{F}_{ext}$$

Principle of the method

- The data are represented by a set of 3D points
- Let a simple closed surface mesh composed of 3D vertices P_i (e.g. a sphere)
- The surface mesh is initially positioned "in the middle" of the data
- This surface will deform under the influence of:
 - an external force $\mathbf{F}_{ext}$ which attracts the vertices P_i towards the data
 - an internal force $\mathbf{F}_{int}$ which tends to keep the surface smooth (e.g. curvature continuity)



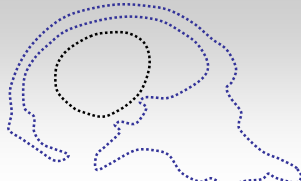
- At time t , all the vertices P_i follow the evolution law:

$$P_i^{t+1} = P_i^t + (1 - \gamma)(P_i^t - P_i^{t-1}) + \alpha_i \mathbf{F}_{int} + \beta_i \mathbf{F}_{ext}$$

- Iterate the process until the vertices P_i do not move anymore.

Principle of the method

- The data are represented by a set of 3D points
- Let a simple closed surface mesh composed of 3D vertices P_i (e.g. a sphere)
- The surface mesh is initially positioned "in the middle" of the data
- This surface will deform under the influence of:
 - an external force $\mathbf{F}_{ext}$ which attracts the vertices P_i towards the data
 - an internal force $\mathbf{F}_{int}$ which tends to keep the surface smooth (e.g. curvature continuity)



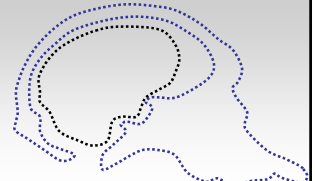
- At time t , all the vertices P_i follow the evolution law:

$$P_i^{t+1} = P_i^t + (1 - \gamma)(P_i^t - P_i^{t-1}) + \alpha_i \mathbf{F}_{int} + \beta_i \mathbf{F}_{ext}$$

- Iterate the process until the vertices P_i do not move anymore.

Principle of the method

- The data are represented by a set of 3D points
- Let a simple closed surface mesh composed of 3D vertices P_i (e.g. a sphere)
- The surface mesh is initially positioned "in the middle" of the data
- This surface will deform under the influence of:
 - an external force $\mathbf{F}_{ext}$ which attracts the vertices P_i towards the data
 - an internal force $\mathbf{F}_{int}$ which tends to keep the surface smooth (e.g. curvature continuity)



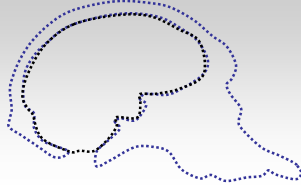
- At time t , all the vertices P_i follow the evolution law:

$$P_i^{t+1} = P_i^t + (1 - \gamma)(P_i^t - P_i^{t-1}) + \alpha_i \mathbf{F}_{int} + \beta_i \mathbf{F}_{ext}$$

- Iterate the process until the vertices P_i do not move anymore.

Principle of the method

- The data are represented by a set of 3D points
- Let a simple closed surface mesh composed of 3D vertices P_i (e.g. a sphere)
- The surface mesh is initially positioned "in the middle" of the data
- This surface will deform under the influence of:
 - an external force $\mathbf{F}_{ext}$ which attracts the vertices P_i towards the data
 - an internal force $\mathbf{F}_{int}$ which tends to keep the surface smooth (e.g. curvature continuity)



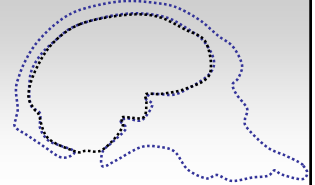
- At time t , all the vertices P_i follow the evolution law:

$$P_i^{t+1} = P_i^t + (1 - \gamma)(P_i^t - P_i^{t-1}) + \alpha_i \mathbf{F}_{int} + \beta_i \mathbf{F}_{ext}$$

- Iterate the process until the vertices P_i do not move anymore.

Principle of the method

- The data are represented by a set of 3D points
- Let a simple closed surface mesh composed of 3D vertices P_i (e.g. a sphere)
- The surface mesh is initially positioned "in the middle" of the data
- This surface will deform under the influence of:
 - an external force $\mathbf{F}_{ext}$ which attracts the vertices P_i towards the data
 - an internal force $\mathbf{F}_{int}$ which tends to keep the surface smooth (e.g. curvature continuity)



- At time t , all the vertices P_i follow the evolution law:

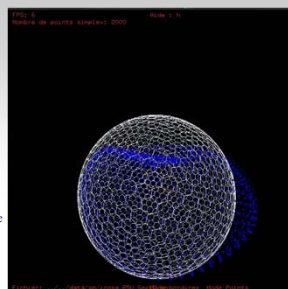
$$P_i^{t+1} = P_i^t + (1 - \gamma)(P_i^t - P_i^{t-1}) + \alpha_i \mathbf{F}_{int} + \beta_i \mathbf{F}_{ext}$$

- Iterate the process until the vertices P_i do not move anymore.

- Eventually, add more vertices in the mesh when the distance between the existing vertices becomes too large in order to recover the details.

Principle of the method

- The data are represented by a set of 3D points
- Let a simple closed surface mesh composed of 3D vertices P_i (e.g. a sphere)
- The surface mesh is initially positioned "in the middle" of the data
- This surface will deform under the influence of:
 - an external force $\mathbf{F}_{ext}$ which attracts the vertices P_i towards the data
 - an internal force $\mathbf{F}_{int}$ which tends to keep the surface smooth (e.g. curvature continuity)



- At time t , all the vertices P_i follow the evolution law:

$$P_i^{t+1} = P_i^t + (1 - \gamma)(P_i^t - P_i^{t-1}) + \alpha_i \mathbf{F}_{int} + \beta_i \mathbf{F}_{ext}$$

- Iterate the process until the vertices P_i do not move anymore.

- Eventually, add more vertices in the mesh when the distance between the existing vertices becomes too large in order to recover the details.

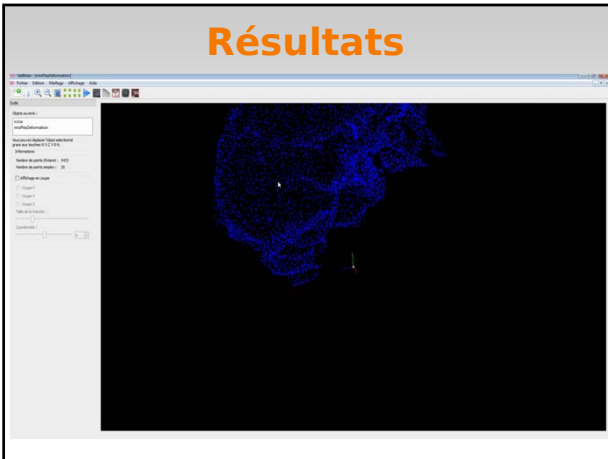
Résultats



Résultats : Projet Morphine 3D : G. Subsol (Lirmm), G. Gesquière (LSIS)

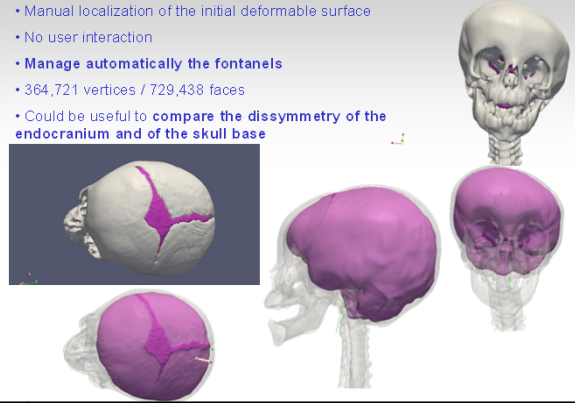
- Environ 2 heures de calcul
- 250 000 points d'intérêts
- 304 372 points simplexes

Résultats



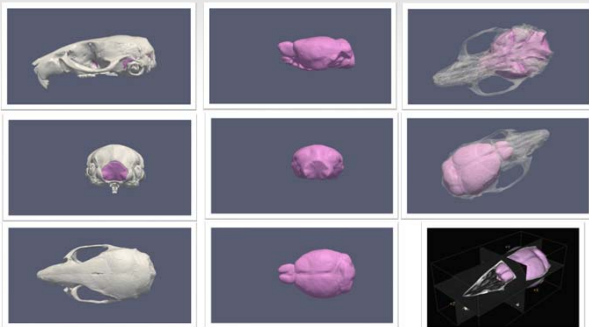
Résultats : In-vivo data, Guillaume CAPTIER, Pediatric Plastic Surgery Unit., University Hospital of Montpellier (France), G. Subsol (Limm), G. Gesquière (LSIS)

- Manual localization of the initial deformable surface
- No user interaction
- Manage automatically the fontanels
- 364,721 vertices / 729,438 faces
- Could be useful to compare the dissymmetry of the endocranium and of the skull base

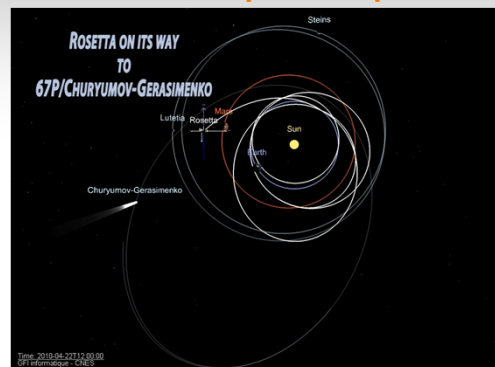


Résultats : Mouse data (Penn state University) J. RICHSTMEIER & Y. HEUZE, Department of Anthropology Pennsylvania State University (U.S.A.), G. Subsol (Limm)

- μ CT-Scan of the skull of a mouse: 603 slices of 329×274 pixels
- Resolution: $0.039 \times 0.039 \times 0.041$ mm

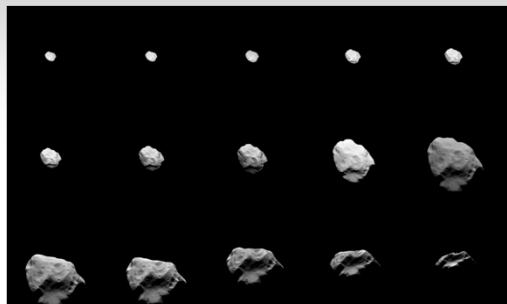


Résultats : Application à la reconstruction de petits corps célestes



Résultats : Application à la reconstruction de petits corps célestes

Panel Wac



C. Capanna, « Reconstruction de petits corps célestes », Thèse LAM/ LSIS

Résultats : Application à la reconstruction de petits corps célestes

- Méthode de reconstruction 3D
 - Méthode 1 - Courbes de lumières
 - Méthode 2 - Profil de Limbe + Shape from silhouette
 - Méthode 3 - Points de contrôles obtenus par Stéréo
 - Méthode 4 - Stéréophotoclinométrie
- Couplage de ces méthodes avec un modèle déformable basé sur un maillage simplexe

C. Capanna, « Reconstruction de petits corps célestes », Thèse LAM/ LSIS 170

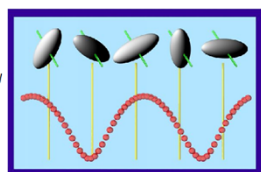
Méthode 1 - Courbes de lumières

Light Curves

Astrophysics : repeated or long term ground observations

Light intensity measured $\rightarrow$ Curve (function of time)

[1] Computer experiments of the light-curve simulations and modeling from <http://www.konkoly.hu/staff/kollath/first.html>



Time between peaks $\leftrightarrow$ Rotational period of the object.

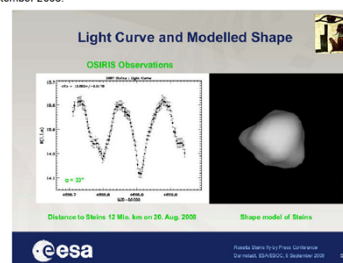
Amplitude of the light curve $\leftrightarrow$ Shape of the object

C. Capanna, « Reconstruction de petits corps célestes », Thèse LAM/ LSIS

Méthode 1 - Courbes de lumières

Light Curves

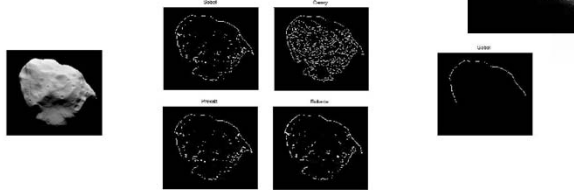
[2] H.U. Keller and the OSIRIS Team, "Rosetta steins fly-by," Press Conference, 6 September 2008.



C. Capanna, « Reconstruction de petits corps célestes », Thèse LAM/ LSIS

Méthode 2 - Profil de Limbe + Shape from silhouette

- Détection des profils



- Reconstruction par Shape From Silhouette

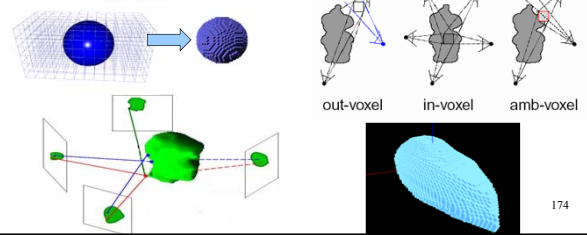
C. Capanna, « Reconstruction de petits corps célestes », Thèse LAM/ LSIS

Méthode 2 - Profil de Limbe + Shape from silhouette

Using Shape From Silhouette

For each pixel

Define if a pixel is contained on a voxel of the initial model



174

Méthode 2 - Profil de Limbe + Shape from silhouette

- Using binarized segmented images

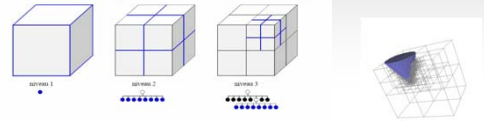
- two parts : in or out
- Limb and terminator have been extracted



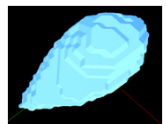
175

Méthode 2 - Profil de Limbe + Shape from silhouette

- Utilisation d'une représentation hiérarchique



- Possibilité de revenir à une surface en transformant les voxels en surface [Lorensen and Cline]
- Amélioration de la vitesse en ayant des voxels de différentes tailles
- Prise en compte de la précision (CCD, Validité du calcul du Limbe, ...)



176

Méthode 3 - Points de contrôles obtenus par Stéréo

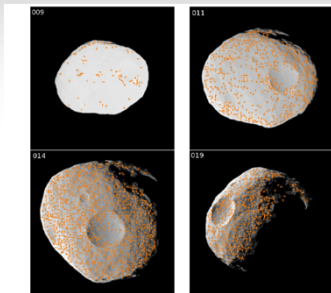


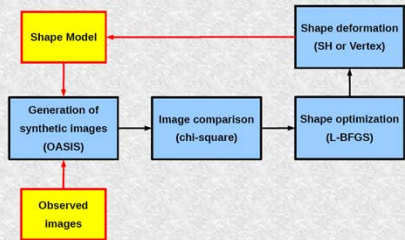
FIG. 3.2 – Détection de PI sur quatre images de la séquence du survol

3-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION OF ASTEROID 2547 STEINS. S. BESSE¹, O. GROSSE², L. JORDA³, P. LANTY⁴, M. KANAKLAKIS⁵, C. GOSQUET⁶, E. RENTY⁷ and the OSIRIS Team, Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (LAM), Marseille, France, schott@osiris.lam.fr, Dept of Mathematics, University of Debrecen, Hungary, Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes (LSIS), Aix-Marseille Université

Méthode 4 - Stéréophotoclinométrie

PHOTOCLINOMETRY BY SHAPE DEFORMATION

General scheme



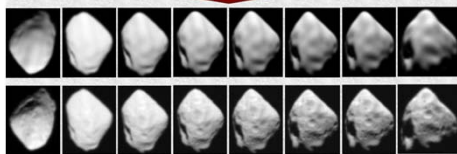
C. Capanna, « Reconstruction de petits corps célestes », Thèse LAM/ LSIS

Méthode 4 - Stéréophotoclinométrie

RESULTS FOR ROSETTA@STEINS

Spherical Harmonics Model

SYNTHETIC FROM MODEL



OBSERVATIONS

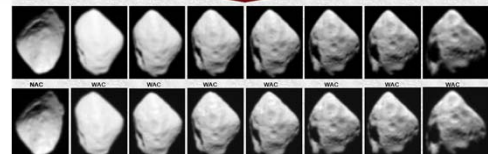
C. Capanna, « Reconstruction de petits corps célestes », Thèse LAM/ LSIS

Méthode 4 - Stéréophotoclinométrie

RESULTS FOR ROSETTA@STEINS

Triangular Facets Model

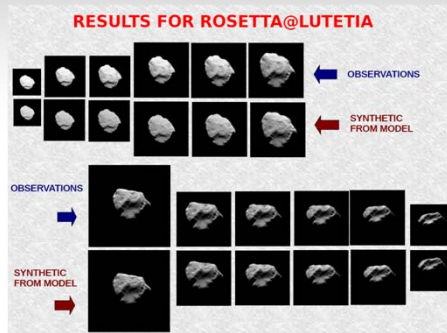
SYNTHETIC FROM MODEL



OBSERVATIONS

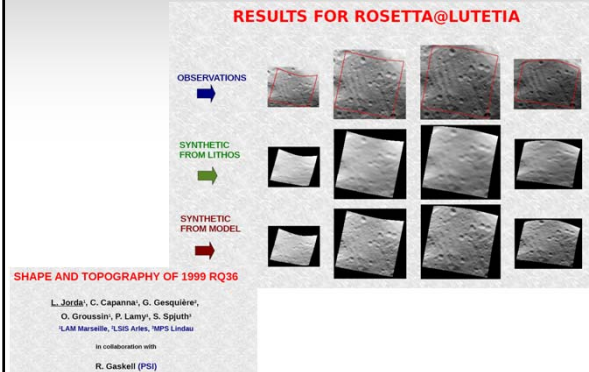
C. Capanna, « Reconstruction de petits corps célestes », Thèse LAM/ LSIS

Méthode 4 - Stéréophotoclinométrie



C. Capanna, « Reconstruction de petits corps célestes », Thèse LAM/ LSIS

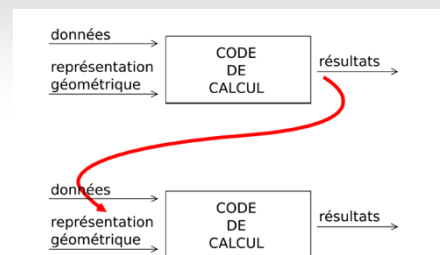
Résultats : Application à la reconstruction de petits corps célestes



Partie 3

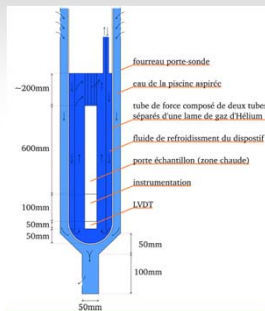
- Déformation de différents modèles
 - Maillage Simplexe
 - **Maillage + TPS**
 - Surfaces paramétriques

Maillage + TPS



B. Duplex, « Transfert de déformations géométriques entre codes de calcul », Thèse CEA/ LSIS

Maillage + TPS



B. Duplex, « Transfert de déformations géométriques entre codes de calcul », Thèse CEA/ LSIS

Maillage + TPS

» But recherché

- transférer des déformations entre plusieurs codes de calcul dont les domaines d'étude partagent une frontière.

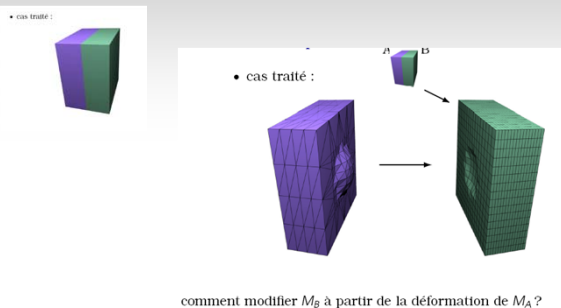
» Cas traité : uniquement les codes déterministes

→ maillages :

- maillages des codes différents les uns des autres,
- tous basés sur une partie (ou la totalité) de la géométrie de l'étude.

B. Duplex, « Transfert de déformations géométriques entre codes de calcul », Thèse CEA/ LSIS

Maillage + TPS



B. Duplex, « Transfert de déformations géométriques entre codes de calcul », Thèse CEA/ LSIS

Maillage + TPS

- fonction F_α ([DGDPI0]) → combinaison de :

- une méthode de simplification :
 - abaisse le nombre de nœuds à interpoler.
 - paramètre α fixe le nombre de points à garder,
 - points gardés jugés importants,
 - points notés $\{L_k\}_{k=1,\dots,\alpha}$.
- un réseau de fonctions de base radiale (RBF) :
 - fonction d'interpolation du déplacement, des points $\{L_k\}_{k=1,\dots,\alpha}$.
 - RBF utilisées : Thin-Plate Splines (TPS).

[DGDPI0] Duplex B., Gesquière G., Daniel M. et Perdu F. : Transfer of mesh deformations between physical codes, in *Curves and Surfaces conference*, juin 2010.

B. Duplex, « Transfert de déformations géométriques entre codes de calcul », Thèse CEA/ LSIS

Maillage + TPS

	interpolation linéaire	représentation paramétrique	réseau de RBF
trouver fonction	✗	✓	✓
grand volume de données	✓	✓ / ✗	✗
uniquement avec nuage de points	✗	✗	✓
qualité	✗	✓	✓

RBF : fonctions de base radiale (Radial Basis Functions)

B. Duplex, « Transfert de déformations géométriques entre codes de calcul », Thèse CEA/ LSIS

Maillage + TPS

- réseau de TPS de $F_\alpha(V)$, $F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$ est :

$$F_\alpha(V) = \sum_{k=1}^{\alpha} \lambda_k \cdot \phi(\|V - L_k\|) + \mathcal{L}(V)$$

avec :

$\|\cdot\|$ est une norme (généralement euclidienne) sur $\mathbb{R}^3$,

V et $L_k \in \mathbb{R}^3$ deux points,

ϕ une fonction TPS (centrée en L_k),

$\lambda_k \in \mathbb{R}^3$, les coefficients du réseau,

α le nombre de points utilisés par le réseau,

$\mathcal{L}(V)$ une fonction polynomiale de degré un.

B. Duplex, « Transfert de déformations géométriques entre codes de calcul », Thèse CEA/ LSIS

Maillage + TPS

- réseau de TPS de $F_\alpha(V)$, $F : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$ est :

$$F_\alpha(V) = \sum_{k=1}^{\alpha} \lambda_k \cdot \phi(\|V - L_k\|) + \mathcal{L}(V)$$

→ nécessite la résolution d'un système linéaire d'une taille d'ordre $\alpha \times \alpha$,

→ coûteux en temps de calcul :

$$\phi(r) = r^4 \cdot \log(r),$$

→ fonction à support global,

→ matrice pleine à diagonale nulle.

→ nécessite un α petit.

B. Duplex, « Transfert de déformations géométriques entre codes de calcul », Thèse CEA/ LSIS

Maillage + TPS

- utilisation d'une fonction à support compact :

a. réduit l'influence d'un point L_k ,

b. aboutit à une matrice creuse → accélération du calcul.

- fonction choisie : CS-RBF de Wendland ([Wen05])

a. qualité du résultat proche de celui des TPS.

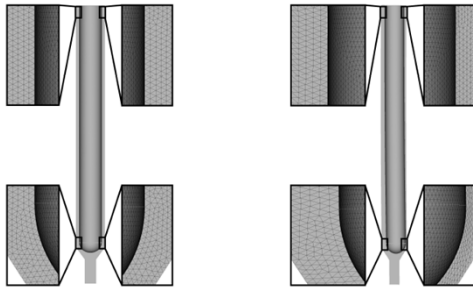
$$b. \phi(r) = \begin{cases} (1-r)^4 \cdot (4r+1) & ; \text{si } r < 1 \\ 0 & ; \text{sinon} \end{cases}$$

→ matrice symétrique définie positive.

B. Duplex, « Transfert de déformations géométriques entre codes de calcul », Thèse CEA/ LSIS

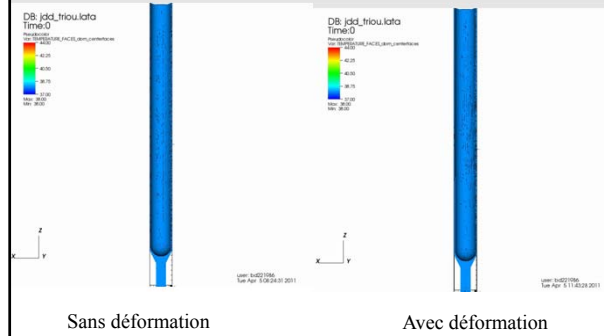
Maillage + TPS

- maillage du code de thermo-hydraulique :



B. Duplex, « Transfert de déformations géométriques entre codes de calcul », Thèse CEA/LSIS

Maillage + TPS



Partie 3

- Déformation de différents modèles
 - Maillage Simplexe
 - Maillage + TPS
 - **Surfaces paramétriques**
 - **Déformation par l'utilisation d'une fonctionnelle**
 - Déformation par l'utilisation de règles (approche déclarative)

Déformation de surfaces paramétriques

Définition générale de la fonctionnelle et du problème

- Fonctionnelle f : caractérisation de l'écart entre la surface approximante B-spline S et les données D ;
 - Résolution du problème d'approximation par minimisation de la formulation :

$$\min_{P,U,V} f(P,U,V,D) \quad (1)$$
- avec :
- $D = \{D_q\}_{q=0}^N$ les points à approcher ;
 - $U = \{u_q\}_{q=0}^M$ et $V = \{v_q\}_{q=0}^M$: chaque point des données est associé à un couple de paramètres ;
 - P : les points de contrôle de la B-spline ;

Thierry Bay, « Modélisation Géométrique des Organes Pelviens » Projet ANR Modype 2009-2012

Déformation de surfaces paramétriques

Reconstruction surfacique

Nouvelle fonctionnelle

On définit :

- $U = \{u_i\}_{i=0}^M$ et $V = \{v_j\}_{j=0}^N$ vecteurs de paramètres liés à l'échantillonnage de la surface ;
- $E = S(U, V)$: ensemble des points de la discrétisation ;
- $(u_i, v_j)_k$ le couple paramétrique du $k^{\text{ème}}$ échantillon ;

Nouvelle formulation $\tilde{f}$:

$$\tilde{f} = \tilde{f}_{D \rightarrow E}(P, U, V) + \tilde{f}_{E \rightarrow D}(P, U, V) \quad (2)$$

Thierry Bay, « Modélisation Géométrique des Organes Pelviens » Projet Modype 2009-2012

Déformation de surfaces paramétriques

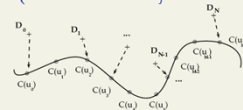
Reconstruction surfacique

Première distance étudiée

- Des données aux évaluations :

$$\tilde{f}_{D \rightarrow E}(P, U, V) = \frac{1}{N+1} \sum_{s=0}^N \left\| \frac{\tilde{E}_s}{D \rightarrow E} \right\|^2 \quad (3)$$

$$\text{avec : } \begin{cases} \tilde{E}_s = D_s - S((u_i, v_j)_s), \\ \|D_s - S((u_i, v_j)_s)\|^2 = \min_j \|D_s - S((u_i, v_j)_j)\|^2 \end{cases} \quad (4)$$



De $D \rightarrow E$

Thierry Bay, « Modélisation Géométrique des Organes Pelviens » Projet Modype 2009-2012

Déformation de surfaces paramétriques

Reconstruction surfacique

Seconde distance étudiée

- Des évaluations vers les données :

$$\tilde{f}_{E \rightarrow D}(P, U, V) = \frac{1}{M+1} \sum_{k=0}^M \left\| \frac{\tilde{E}_k}{E \rightarrow D} \right\|^2 \quad (5)$$

$$\text{avec : } \begin{cases} \tilde{E}_k = D_k - S((u_i, v_j)_k), \\ \|D_k - S((u_i, v_j)_k)\|^2 = \min_j \|D_k - S((u_i, v_j)_j)\|^2 \end{cases} \quad (6)$$



De $E \rightarrow D$

Thierry Bay, « Modélisation Géométrique des Organes Pelviens » Projet Modype 2009-2012

Déformation de surfaces paramétriques

Reconstruction surfacique

Etapes de minimisation

- Alternance de deux étapes¹ pour minimiser $\tilde{f}$:

- Etape 1 - optimisation de la fonction d'erreurs par rapport aux paramètres ; production de $(M+1) + (N+1)$ vecteurs d'erreurs.

- Etape 2 - réduction de la fonctionnelle par rapport aux points de contrôle à chaque itération, descente de gradient à pas optimal :

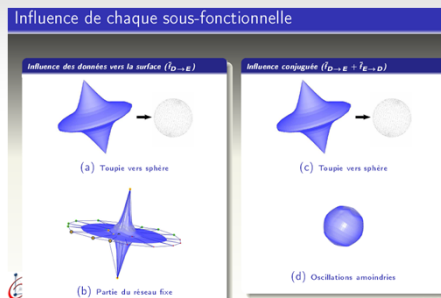
$$\nabla^P \tilde{f} = \nabla^P \tilde{f}_{D \rightarrow E} + \nabla^P \tilde{f}_{E \rightarrow D} \quad (7)$$

¹Chambelland and Daniel, "An iterative method for rational pole curve fitting," in WSCG 2006 conference proceedings 2006, pp 39-46

ANR

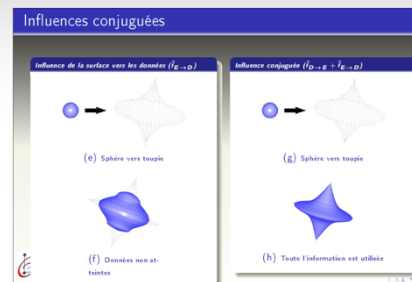
Thierry Bay, « Modélisation Géométrique des Organes Pelviens » Projet Modype 2009-2012

Déformation de surfaces paramétriques



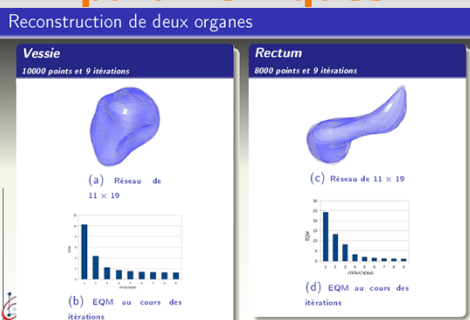
Thierry Bay, « Modélisation Géométrique des Organes Pelviens » Projet Modype 2009-2012

Déformation de surfaces paramétriques



Thierry Bay, « Modélisation Géométrique des Organes Pelviens » Projet Modype 2009-2012

Déformation de surfaces paramétriques



Thierry Bay, « Modélisation Géométrique des Organes Pelviens » Projet Modype 2009-2012

Partie 3

- Déformation de différents modèles
 - Maillage Simplexe
 - Maillage + TPS
 - **Surfaces paramétriques**
 - Déformation par l'utilisation d'une fonctionnelle
 - **Déformation par l'utilisation de règles (approche déclarative)**

Concept déclaratif en modélisation géométrique ⇒ Approche déclarative (1/2)

Notion introduite au début des années 90.

Objectif :

« Permettre d'**engendrer des formes** (ou des ensembles de formes) par la simple donnée d'un ensemble de **propriétés** ou de **caractéristiques** ».

Raphaël La Gréca « Approche déclarative de la modélisation de surfaces »
Thèse, LISIS, 2005

Concept déclaratif en modélisation géométrique ⇒ 1. Approche déclarative (2/2)

Permet une conception dont le niveau d'abstraction est élevé.

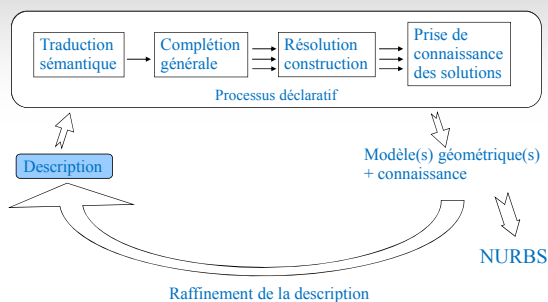
Libère l'utilisateur des contraintes primaires de modélisation.

Permet à l'utilisateur de se focaliser sur la création.

C'est un **outil** rapide et puissant de réalisation d'**ébauches** de formes.

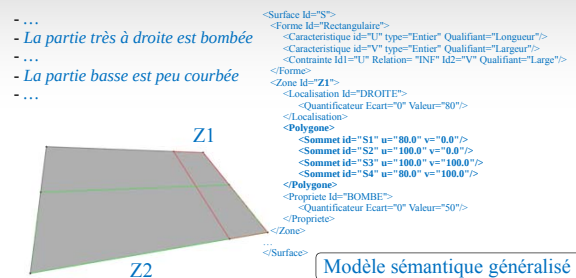
Raphaël La Gréca « Approche déclarative de la modélisation de surfaces »
Thèse, LISIS, 2005

Approche du traitement déclaratif ⇒ Processus général



Raphaël La Gréca « Approche déclarative de la modélisation de surfaces »
Thèse, LISIS, 2005

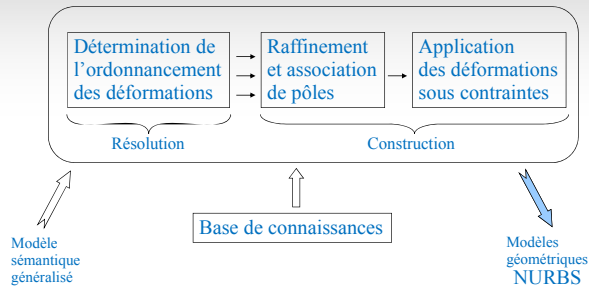
Approche du traitement déclaratif ⇒ 3. Complétion générale



Raphaël La Gréca « Approche déclarative de la modélisation de surfaces »
Thèse, LISIS, 2005

Approche du traitement déclaratif

⇒ 4. Résolution / Construction



Raphaël La Gréca « Approche déclarative de la modélisation de surfaces »
Thèse, LSIS, 2005

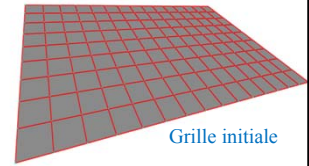
Approche du traitement déclaratif

⇒ 4. Résolution / Construction : NURBS

Modèle de surface : NURBS (Non Uniform Rational B-Spline)

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^{nu} \sum_{j=0}^{nv} P_{ij} \varphi_i(u) \psi_j(v) \quad (u, v) \in D$$

- Inconnues : P_{ij}
- Paramétrisation : contrôle la « Cinématique de la surface »
Peut être fixée. Détermine $\varphi_i(u)$ et $\psi_j(v)$



Raphaël La Gréca « Approche déclarative de la modélisation de surfaces »
Thèse, LSIS, 2005

210

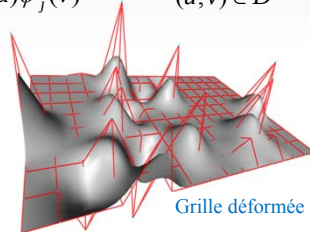
Approche du traitement déclaratif

⇒ 4. Résolution / Construction : NURBS

Modèle de surface : NURBS (Non Uniform Rational B-Spline)

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^{nu} \sum_{j=0}^{nv} P_{ij} \varphi_i(u) \psi_j(v) \quad (u, v) \in D$$

- Inconnues : P_{ij}
- Paramétrisation : contrôle la « Cinématique de la surface »
Peut être fixée. Détermine $\varphi_i(u)$ et $\psi_j(v)$



Raphaël La Gréca « Approche déclarative de la modélisation de surfaces »
Thèse, LSIS, 2005

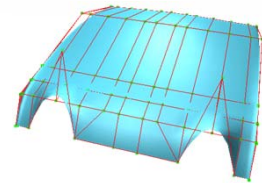
Approche du traitement déclaratif

⇒ 4. Résolution / Construction : NURBS

Modèle de surface : NURBS (Non Uniform Rational B-Spline)

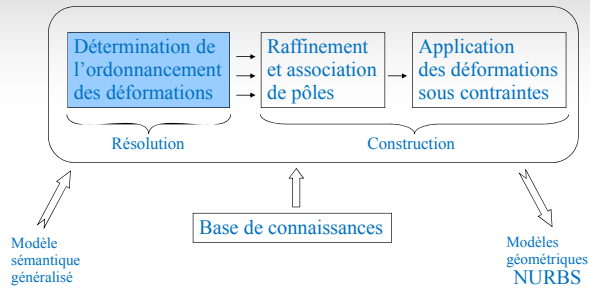
$$S(u, v) = \sum_{i=0}^{nu} \sum_{j=0}^{nv} P_{ij} \varphi_i(u) \psi_j(v) \quad (u, v) \in D$$

- Inconnues : P_{ij}
- Paramétrisation : contrôle la « Cinématique de la surface »
Peut être fixée. Détermine $\varphi_i(u)$ et $\psi_j(v)$



Raphaël La Gréca « Approche déclarative de la modélisation de surfaces »
Thèse, LSIS, 2005

Approche du traitement déclaratif ⇒ 4. Résolution / Construction

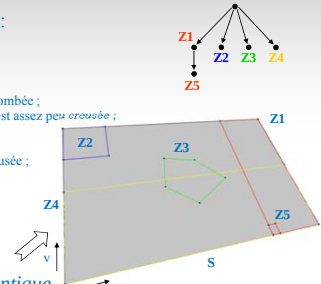


Raphaël La Gréca « Approche déclarative de la modélisation de surfaces »
Thèse, LSIS, 2005

Approche du traitement déclaratif ⇒ 3. Résolution / Construction : Résolution (1/2)

Soit la description suivante :

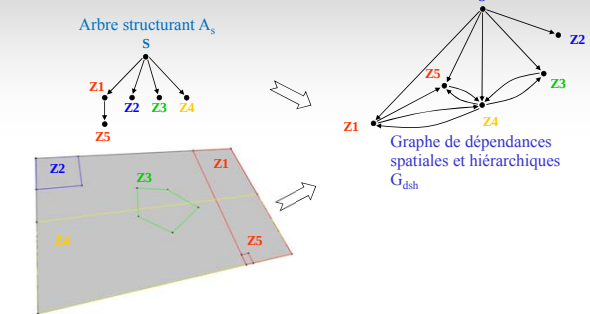
- Référentiel parallélépipédique (x,y,z) ;
- Vision face au plan (x,y) ;
- Soit la surface S ;
- La partie très à droite $Z1$ de S est très bombée ;
- La partie très en Bas-gauche $Z5$ de $Z1$ est assez peu creusée ;
- $Z5$ est de forme carrée ;
- La partie basse $Z4$ de S est courbée ;
- La partie très en haut-gauche $Z2$ est creusée ;
- $Z2$ est de forme carrée ;
- La partie centrale $Z3$ est trouée ;
- $Z3$ est de forme quelconque ;
- S est globalement très peu bosselée .



Considérons le modèle sémantique généralisé répondant à la disposition suivante des zones.

Raphaël La Gréca « Approche déclarative de la modélisation de surfaces »
Thèse, LSIS, 2005

Approche du traitement déclaratif ⇒ 3. Résolution / Construction : Résolution (2/2)



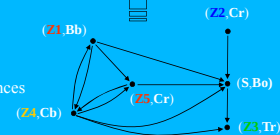
Raphaël La Gréca « Approche déclarative de la modélisation de surfaces »
Thèse, LSIS, 2005

Approche du traitement déclaratif ⇒ 3. Résolution / Construction : Résolution (2/2)

Modèles patrons

- | | | | | | | | |
|---|---|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| 0 | ⇒ | (Z4, Cb) | (Z2, Cr) | (Z1, Bb) | (Z5, Cr) | (S, Bo) | (Z3, Tr) |
| 1 | ⇒ | (Z1, Bb) | (Z4, Cb) | (Z5, Cr) | (Z2, Cr) | (S, Bo) | (Z3, Tr) |
| 2 | ⇒ | (Z1, Bb) | (Z5, Cr) | (Z4, Cb) | (Z2, Cr) | (S, Bo) | (Z3, Tr) |

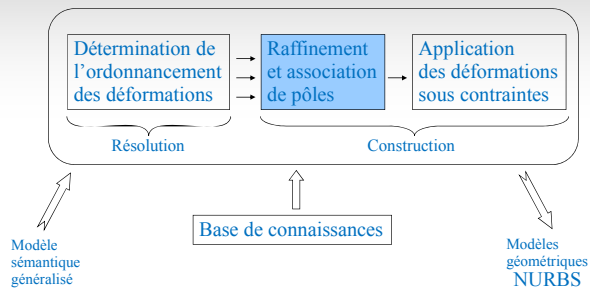
Graphe de dépendances inter zones G_{diz}



Raphaël La Gréca « Approche déclarative de la modélisation de surfaces »
Thèse, LSIS, 2005

Approche du traitement déclaratif

⇒ 4. Résolution / Construction

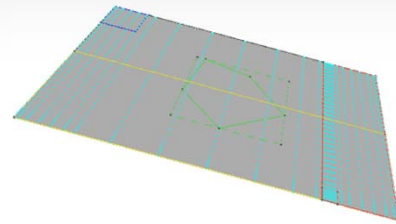


Raphaël La Gréca « Approche déclarative de la modélisation de surfaces »
Thèse, LSIS, 2005

Approche du traitement déclaratif

⇒ 4. Résolution / Construction : Raffinement

Ajouter des points de contrôles dans les zones à déformer



Raphaël La Gréca « Approche déclarative de la modélisation de surfaces »
Thèse, LSIS, 2005

218

Conclusion

- Choix du modèle
 - Volumique , Surfâcique ?
 - Discret/ continu ?
- Déformation de modèles
 - De nombreuses méthodes existent; juste un bref aperçu
- Importance de
 - gérer la sémantique liée au modèle
 - Garder cette sémantique tout au long du cycle de vie
- Echanger des modèles = Vers un modèle interopérable ?
 - Importance de la normalisation