

### Partie 1 Modélisation

---

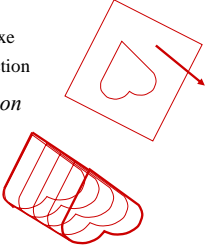
1. Techniques de modélisation
2. Représentations de la géométrie
  - Surfaiques : polygones, **splines**, surfaces de subdivision
  - Volumiques : voxels, CGS, surfaces implicites
3. Modélisation interactive : les dernières avancées
  - Sculpture, déformations de l'espace, croquis (sketching)

### Splines : primitives de base

---

- **Lofting**
  - Données : une section plane et un axe
  - Grille de points en tradant la section

*Permet de monter d'une dimension*



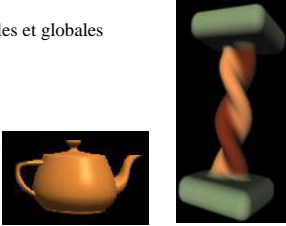
2

### Motivation

*Rappel: Pour créer des formes libres*

---

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




3

### Modélisation surfacique 1. Primitives de base

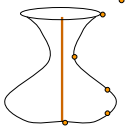
---

Extrusion, ou « Sweeping » (terme générique)

- Surfaces splines créées à partir de courbes splines 2D



- **Surfaces de révolution**
  - Rotation d'un profil plan autour d'un axe
    - Grille de points de contrôle
  - Conditions de raccordement
    - Trois rangées communes de points !




4

### Splines : primitives de base

---

- **Extrusion (Free-form sweeping)**
  - Données :
    - une section plane,
    - un squelette gauche,
    - un profil plan
  - La section est « promenée » le long du squelette
  - Le profil sert de facteur d'échelle

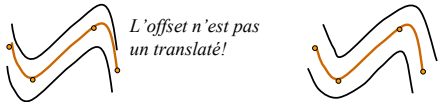


5

### Splines : Extrusion

---

- Etape 1 : tubes à section constante
  - **Offset** du squelette : courbe restant toujours à la même distance, et formant le même angle par rapport à la normale
  - But : approcher l'offset avec même nb de pts de contrôle



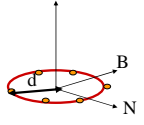
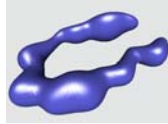
*L'offset n'est pas un translaté!*

6

### Splines : Extrusion

---

- Etape 2
  - Tracer des offsets pour chaque points de la section
- Etape 3
  - Modifier la distance d'offset en fonction du profil

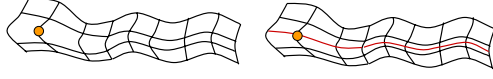



7

### Modélisation surfacique 2. Déformations

---

- Déformation locales
  - Déplacer les points de contrôle : c'est fait pour
  - MAIS l'ajout de points se fait par lignes entières !
- Comment contrôler la localité ?
  - déformation globale après avoir ajouté des détails ?



8

### Splines hiérarchiques (H-Splines)

---

- But : contrôler la localité des déformations
- Arborescences de grilles de contrôle
- Représentation locale des points :  $P = G + O$ ,
  - $G = S_i(u_i, v_i)$  point surface parent le plus proche
  - $O$  vecteur d'offset
- Déformer à grande échelle préserve les détails !

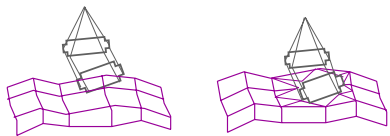
9

### Modélisation surfacique 3. Assemblage

---

#### Surfaces polygonales

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

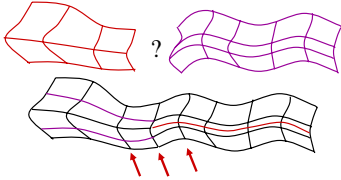


10

### Assemblage des surfaces splines

---

- Bord à bord
  - nombre de lignes = ppcm des nombres de lignes initiaux
  - 3 rangées communes de points de contrôle



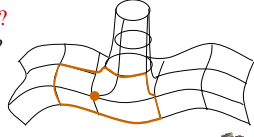
11

### Assemblage de surfaces splines


---



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

Très difficile de modéliser des objets de topologie non triviale!  
C'est l'une des motivations pour la modélisation volumique




12

### Représentations volumiques 1. Voxels

---

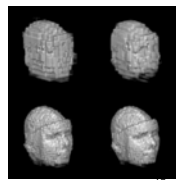
**Volumes discrets**

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



**Exemple : imagerie médicale**

- Reconstruction d'un objet réel
  - Simplification ?
  - Mesure de l'erreur ?

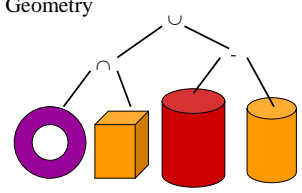


### Représentations volumiques 2. Arbres CSG

---

CSG = Constructive Solid Geometry

- Primitives géométriques
- Opérateurs booléens
  - Union (ou)
  - Intersection (et)
  - Différence (not)
- Arbre de construction



Très utilisé en CAO (semblable au procédé d'usinage),  
mais visualisation délicate

14


### Représentations volumiques 3. Surfaces implicites

---

**Définies par une équation implicite**

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

- $f$  est la « fonction potentiel »
- normale à la surface :  $N = - \nabla f$
- modélisation volumique : intérieur  $f(x,y,z) > iso$ 
  - test d'appartenance d'un point (collisions, rayons...)
- Forme libre : S a la même continuité que  $f$



15

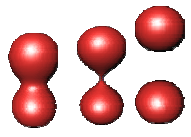
### Représentations volumiques 3. Surfaces implicites

---


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

Intérêt : Assembler des éléments

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



16

### Représentations volumiques 3. Surfaces implicites


---

**Arbre de construction**

- Pour combiner les primitives implicites (+, -, max, min, etc)
- Pour appliquer des déformations

$$f(F^{-1}(P)) = iso$$

- F est une défo « de l'espace »
- Ex: courbure, torsion, fuselage... données par une matrice de déformation



17


### Visualisation des surfaces implicites

---

1. Lancer de rayons [Bl82]

- Intersection rayon/surface par dichotomie
- Intersection analytique
- Lancer de sphères (constantes de Lipschitz)

Temps de rendu : qq heures

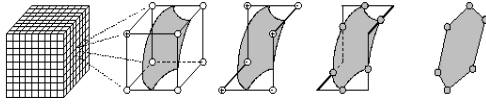


18

### Visualisation des surfaces implicites

#### 2. Marching cubes [WMW86, LC87]

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

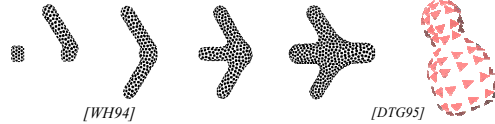


19

### Visualisation des surfaces implicites

#### 3. Particules

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



[WH94]

[DTG95]

20

### Surfaces implicites Comment modéliser ?

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

Définition et contrôle de  $f$  ?

- Trois catégories de surfaces

#### 1. Algébriques (équation analytique)

- Super-ellipsoïdes  $x^n/a^n + y^n/b^n + z^n/c^n = iso$
- Super-quadrriques

Primitives de base, mais contrôle des formes peu intuitif !

21

### Surfaces implicites Comment modéliser ?

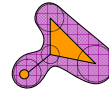
$$S = \{ P(x,y,z) / f(x,y,z) = iso \}$$

Définition et contrôle de  $f$  ?

- Trois catégories de surfaces

#### 2. Définies par squelettes

- Représentation compacte & intuitive
- Primitives de contrôle



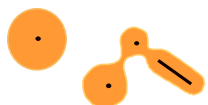
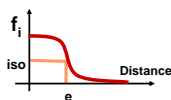
22

### Surfaces à squelettes

$$f = \sum f_i \quad S = \{ P / f(P) = iso \}$$

- $f_i$  fonction décroissante de la distance  $(P, S_i)$

- Contrôle local si  $f_i$  à support compact
- Topologie variable
- Deux paramètres importants : taille et rayon d'influence



23

### Surfaces à squelettes

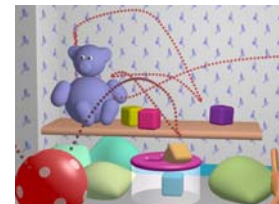
#### Fonction potentiel

- Exponentiel

- blobs [Bli82]
- $f(d) = k \exp(-d / r(S_i^2))$

- Polynomial (contrôle local)

- meta-balls [NHK+85]
- $f(d) = 1 - 3 d^2$  si  $0 < d < 1/3$
- $f(d) = 3/2 (1 - d^2)$  si  $1/3 < d < 1$
- soft objects [WMW89],
- $f(d) = -4/9 d^2 + 17/9 d^4 - 22/9 d^6 + 1$



Squelette négatif : creuse l'objet !

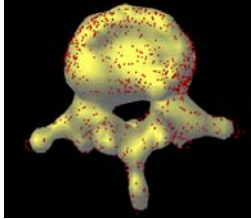
24

### Surfaces implicites à squelettes ponctuels

Exemple: Utilisation en reconstruction

- Points de donnée  $P_i$
- Minimisation de l'erreur  

$$E = \sum (f(P_i) - iso)^2$$
- Subdivision et placement progressifs de squelettes

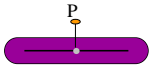
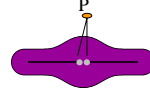


25

### Surfaces à squelettes

#### Squelettes courbes et surfaciques

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

#### Autres squelettes

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

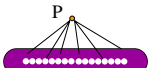

26

### Surfaces implicites à squelettes

- Surfaces de convolution [BS91]
  - Utiliser tous les points du squelette

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

- Calcul discret de l'intégrale [BS91]
- Solution analytique [She98]

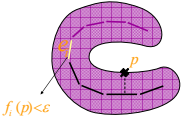




27

### Surfaces implicites à squelettes

#### Problème du mélange indésirable

- Sans graphe de mélange
  - Diagram showing a blue surface with a hole, and a purple surface with a hole, illustrating the problem of mixing.
- Avec :
  - Diagram showing a blue surface with a hole, and a purple surface with a hole, illustrating the solution using a graph of mixing.

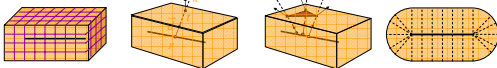
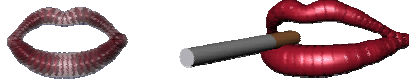



28

### Surfaces implicites à squelettes

#### Visualisation interactive

- Polygonisation par morceaux [DTG95]
  - Surface fermée opaque autour de chaque « territoire »

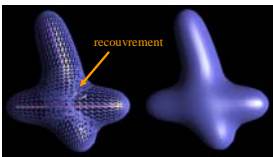



29

### Surfaces implicites à squelettes

#### Visualisation interactive

- Polygonisation par morceaux (extensions)
  - Un seul maillage fermé autour des squelettes courbes
  - Recouvrement local
    - territoire étendu [CH01]  $\{p \mid \forall j \neq i, f_i(p) + \eta > f_j(p)\}$



30

### Surfaces implicites Comment modéliser ?

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

Définition et contrôle de  $f$  ?

- Trois catégories de surfaces

#### 3. Définies par valeurs échantillonnées

- Dans une grille
- Interpolation tri-linéaire



Contrôle par des outils qui « peignent » une densité

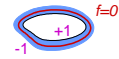
31

### Représentations volumiques Conclusion

- Approches constructive (squelettes + CSG)
  - Stockage hiérarchique compact
  - Calcul du potentiel fonction du nb d'éléments
  - Le squelette est utile pour déformer, animer



- Approches discrètes (voxels, potentiel discret)
  - Potentiel en temps constant
  - Coût mémoire important
    - Ne stocker que les voxels utiles!



32