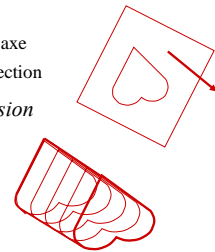


## Partie 1 Modélisation

1. Techniques de modélisation
2. Représentations de la géométrie
  - Surfamiques : 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



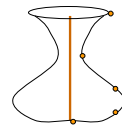
3

## Modélisation surfacique 1. Primitives de base

- Extrusion, ou « Sweeping » (terme générique)
- Surfaces splines créées à partir de courbes splines 2D



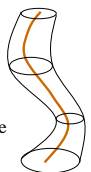
- Surfaces de révolution
  - Rotation d'un profil plan autour d'un axe
    - Grille de points de contrôle
  - Conditions de raccordement
    - Trois rangées communes de points !



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



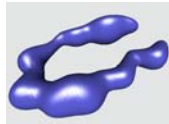
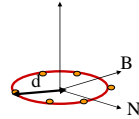
L'offset n'est pas un translaté!



6

### Splines : Extrusion

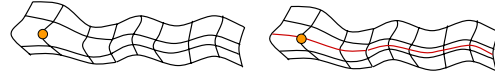
- Etape 2
  - Tracer des offsets pour chaque points de la section
- Etape 3
  - Modifier la distance d'offset en fonction du profil



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)

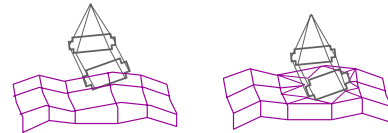
- But : contrôler la localité des déformations
- Arborescences de grilles de contrôle
- Représentation locale des points :  $P = G + O$ ,
  - $G = S_i(u_i, v_i)$  point surface parent le plus proche
  - $O$  vecteur d'offset
- Déformer à grande échelle préserve les détails !

9

### Modélisation surfacique 3. Assemblage

#### Surfaces polygonales

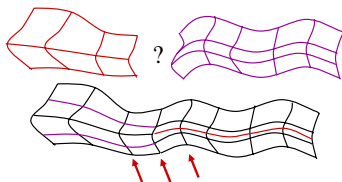
1. Approcher les éléments à assembler (fitting)
2. Projeter la section sur l'autre surface
3. Re-trianguler localement et supprimer les faces internes
4. Générer un filet si nécessaire



10

### Assemblage des surfaces splines

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

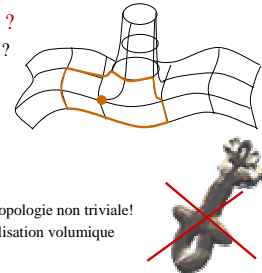


11



### 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

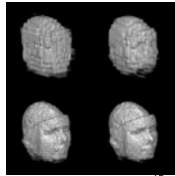
#### Volumes discrets

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



#### Exemple : imagerie médicale

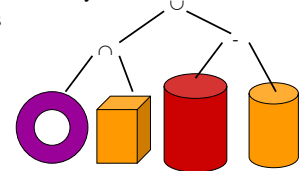
- Reconstruction d'un objet réel
  - Simplification ?
  - Mesure de l'erreur ?



### 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

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

- $f$  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  $f$



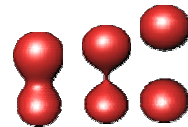
15

### Représentations volumiques 3. Surfaces implicites

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

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 [Bli82]

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

Temps de rendu : qq heures

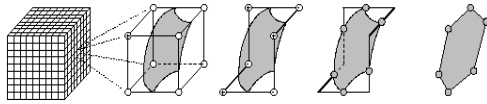


18

## 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

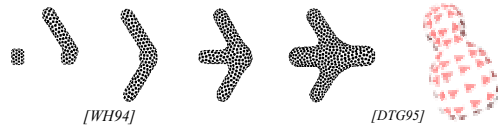


19

## Visualisation des surfaces implicites

### 3. Particules

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



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-quadriques

Primitives de base, mais contrôle des formes peu intuitif !

21

## Surfaces implicites Comment modéliser ?

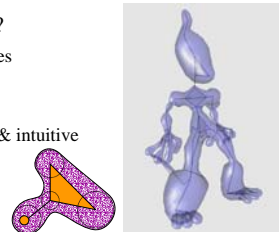
$$S = \{ P(x,y,z) / f(x,y,z) = iso \}$$

Définition et contrôle de  $f$  ?

- Trois catégories de surfaces

### 2. Définies par squelettes

- Représentation compacte & intuitive
- Primitives de contrôle



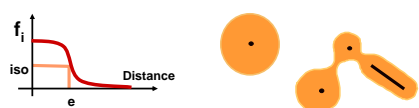
22

## 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

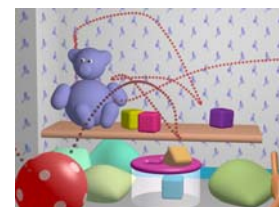
### Fonction potentiel

- Exponentiel

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

- 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],
- $f(d) = -4/9 d^2 + 17/9 d^4 - 22/9 d^6 + 1$

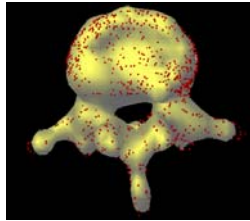


Squelette négatif : creuse l'objet !

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

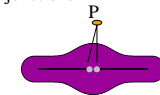
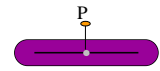


25

### 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 !

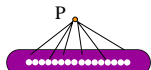
26

### Surfaces implicites à squelettes

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

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

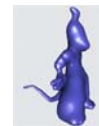
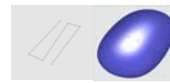
- Calcul discret de l'intégrale [BS91]
- Solution analytique [She98]



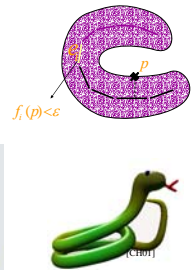
27

### Surfaces implicites à squelettes Problème du mélange indésirable

- Sans graphe de mélange



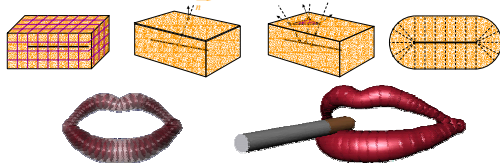
- Avec :



28

### Surfaces implicites à squelettes Visualisation interactive

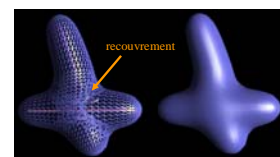
- Polygonisation par morceaux [DTG95]
  - Surface fermée opaque autour de chaque « territoire »



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 ?

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

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